Амальгама состоитъ изъ 7 частей ртути, 1 цинка и 2 олова.

кн. стр. 65.

$p : a = p' : m$

$pm = ap'$

$Q : b = q' : n$, $Qn = bq'$

$p' : q' = b : a$, $p'a = q'b$

$pm = Qn$

Ученика VI класса.

1842 г.

РУКОВОДСТВО

КЪ

ФИЗИКѢ

СОСТАВЛЕННОЕ ПО ПОРУЧЕНІЮ

МИНИСТЕРСТВА НАРОДНАГО ПРОСВѢЩЕНІЯ

ДЛЯ

РУССКИХЪ ГИМНАЗІЙ

Э. Ленцомъ

Академикомъ Императорской Академіи Наукъ и Профессоромъ Физики при Императорскомъ С. П. Б. Университетѣ.

(Цѣна въ Кореш. пер. 4 р. 70 коп. асс. экз.)

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

Въ Типографіи Императорской Академіи Наукъ.

1839.

Александра Скребицкаго.

ПРЕДИСЛОВІЕ

Получивъ отъ Министерства Народнаго Просвѣщенія порученіе составить Руководство Физики для Русскихъ Гимназій, я при начертаніи плана сочиненія не упускалъ изъ виду слѣдующихъ обстоятельствъ:

Изученіе Физики въ Гимназіяхъ для всѣхъ молодыхъ людей, не посвящающихъ себя въ Университетахъ исключительно Естественнымъ Наукамъ, есть единственный случай, когда черезъ изустное преподаваніе они могутъ пріобрѣсть познанія главнѣйшихъ явленій въ окружающей насъ природѣ. Въ нашихъ Университетахъ молодые люди при занятіи науками избраннаго факультета мало имѣютъ времени для того, чтобы посѣщать аудиторію посторонныхъ факультету наукъ, и по этому въ самомъ дѣлѣ весьма рѣдко

можно видѣть напримѣръ Юриста на урокахъ Физики; съ другой стороны теперь болѣе и болѣе почитается нѣкоторою потребностію всеобщаго образованія, быть въ состояніи отдавать себѣ отчетъ по крайней мѣрѣ о главнѣйшихъ явленіяхъ природы, имѣющихъ столь значительное вліяніе на наше бытіе и на нашу жизнь. Сію то потребность я имѣлъ въ виду при составленіи Руководства и съ сей то точки зрѣнія нужно обсуживать планъ онаго.

По этому здѣсь не умѣстно было бы спорить о томъ, принадлежатъ ли Руководству собственной Физики первыя начала Статики и Механики и приложеніе оныхъ къ простымъ машинамъ, или даже краткое изложеніе основныхъ явленій Химіи; такъ какъ потребность имѣть нѣкоторыя познанія объ этихъ явленіяхъ, такъ часто встрѣчающихся въ общежитіи, неоспорима и такъ какъ эти познанія менѣе имѣютъ связи съ какою нибудь другою наукою, преподаваемою въ Гимназіяхъ, нежели съ Физикою, то изложеніе понятій о такихъ предметахъ должно найти для себя мѣсто въ часы преподаванія Физики. По этой же причинѣ здѣсь необходимо было разсмотрѣть также нѣкоторые предметы изъ Метеорологіи и Физической Географіи.

Съ другой стороны время, опредѣленное для преподаванія Физики въ Гимназіяхъ, не позволяло мнѣ входить во всѣ подробности каждаго предмета, или упомянуть о всѣхъ предметахъ входящихъ въ составъ Физики. Въ каждомъ изъ двухъ высшихъ классовъ назначены два урока въ недѣлю (каждый по $1\frac{1}{2}$ часа), при чемъ курсъ продолжается одинъ годъ. Сообразно съ этимъ Руководство раздѣлено на 2 части, изъ которыхъ первая, разсматривающая *Вѣсомыя*, должна быть преподаваема въ предпослѣднемъ, вторая, занимающаяся такъ называемыми *Невѣсомыми*, въ послѣднемъ или высшемъ классѣ.

Что касается до изложенія, то главною цѣлію моею была ясность понятій; если можно было достигнуть этого однимъ простымъ разсужденіемъ, то я избиралъ эту форму; если простое математическое изложеніе предмета вело *скорѣе* и *вѣрнѣе* къ цѣли то я не отвергалъ и этого способа. Ученики обоихъ высшихъ классовъ знакомы съ нисшею Алгеброю, Геометріею и Тригонометріею. Въ познаніи этихъ наукъ они уже пріобрѣли

для себя новое орудіе къ скорѣйшему и совершеннѣйшему уразумѣнію Физическихъ истинъ: для чего же не воспользоваться симъ орудіемъ при удобномъ случаѣ? Напротивъ мнѣ кажется весьма прилично, по окончаніи преподаванія этихъ математическихъ наукъ, тотчасъ дать ученикамъ примѣры, посредствомъ которыхъ они могли бы удачно упражняться въ приложеніи пріобрѣтенныхъ познаній и ясно видѣть пользу ихъ. Для математическаго изложенія особенно способны предметы Статики, Механики, и Оптики: по сему я употребилъ здѣсь преимущественно способъ математическаго изложенія.

Отвѣтственность за достоинство Русскаго языка я могъ принять на себя только въ томъ отношеніи, чтобы мысли мои были выражены точно; а что бы все было изложено словами и оборотами свойственными Русскому языку, для этого я искалъ помощи Г. Пчельникова, Преподавателя Физики въ Главномъ Педагогическомъ Институтѣ.

Э. Ленцъ.

С. Петербургъ
1 Марта 1839 года.

СОДЕРЖАНІЕ

По номерамъ, поставленнымъ передъ оглавленіями сего содержанія, будетъ производимъ экзаменъ желающимъ вступить въ Университетъ.

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ ФИЗИКИ
О
ВѢСОМЫХЪ

ВТОРАЯ ЧАСТЬ ФИЗИКИ

О

НЕВѢСОМЫХЪ

ОПЕЧАТКИ.

Стран.	*Строка*	*Напечатано*	*Читай*
22	8 снизу	K	K′
41	14 св.	(фиг. 9)	(фиг. 9 A)
—	16 св.	A	C
45	10 св.	AG	BG
49	11 св.	$^2/_3$ пуда	$6^2/_3$ пуда
67	4 сн.	опоры Q	опоры C
—	— сн.	c	Q
69	8 сн.	(фиг. 35)	(фиг. 33)
71	9 св.	P и	P и Q
133	3 сн.	Cm' и nP	CM и NP
147	1 св	$\frac{s^2}{2r}$	$\frac{s'^2}{2r}$
—	16 св.	AD′	A′D′
203	1 св.	$\times\sqrt{2g}$	$\times\sqrt{2gh}$
210	3 св.	311850 дюйм.	314160 дюйм.
—	— —	25987,5 ф.	26180 ф.
220	4 св.	въ m	въ m (фиг. 126)
261	13 сн.	плоскость	плоскость (фиг. 161. II)
285	4 св.	PQ	PQ (фиг. 173)
301	12 сн.	AC	DC

Стр.	Строка	Напечат.	Читай.
304	1, 3, 6, 8 сн.	S	ϱ
320	5 св.	CH.	CM
321	13 сн.	$tg.\alpha -$	$tg.\alpha =$
387	8 сн.	HF	HJ
391	9 св.	120	135
396	5 св.	$\frac{dFF'}{f(d-F)(F'-D)+dF}$	$\frac{9''.FF'}{f((d-F)(F'-D)+dF)}$
411	11 сн.	(фиг. 256)	(фиг. 246 A)
412	5 сн.	каплѣ,	каплѣ V,
433	8 сн.	Fg	FG
581	12 св.	G	D
596	5 сн.	B	C

ВВЕДЕНІЕ.

§ 1.

Естественныя науки разсматриваютъ произведенія природы и явленія происходящія въ ней. Онѣ:

I. Или имѣютъ предметомъ внутреннія и внѣшнія свойства естественныхъ, еще неизмѣненныхъ рукою человѣка произведеній, соединяютъ въ одинъ классъ предметы имѣющіе наибольшее сходство другъ съ другомъ и такимъ образомъ приводятъ ихъ въ систему; по этому онѣ называются описательными естественными науками и раздѣлются на Зоологію, Ботанику и Минералогію, смотря потому, описываютъ ли онѣ звѣрей или растенія или ископаемые;

II. Или занимаются изслѣдованіемъ дѣйствія тѣлъ одного на другое. Въ послѣднемъ отношеніи опять различаютъ 4 главныя науки:

1. *Астрономія* занимается взаимнымъ дѣйствіемъ небесныхъ тѣлъ.

2. *Физика* разсматриваетъ тѣ явленія въ тѣлесномъ мірѣ, при которыхъ внутреннія свойства не перемѣняются, но измѣняется только или положеніе тѣлъ или положеніе частицъ одного и тогоже тѣла. Напримѣръ къ Физическимъ принадлежатъ слѣдующія явленія: когда брошенное тѣло падаетъ на

землю, — когда частицы воды отъ дѣйствія теплоты силятся отдалиться одна отъ другой, такъ что онѣ являются въ видѣ паровъ и производятъ сильнѣйшее давленіе, — когда двѣ магнитныя стрѣлки притягиваются или отталкиваются одна другою, — когда посредствомъ соединенія различнаго рода стеколъ малые предметы кажутся увеличенными или отдаленные приближенными въ микроскопахъ или телескопахъ.

3. *Химія* напротивъ разсматриваетъ тѣ явленія, въ которыхъ тѣла дѣйствующія другъ на друга, совершенно измѣняются, такъ что по окончаніи дѣйствія мы получаемъ тѣло совершенно не похожее по свойствамъ прежнимъ тѣламъ. Такъ напримѣръ химическое явленіе происходитъ тогда, когда кусокъ дерева отъ горѣнія измѣняется въ уголь, — когда кусокъ мѣлу отъ крѣпкой царской водки налитой на него разлагается съ сильнымъ шипѣніемъ и мы вмѣсто мѣлу получаемъ жидкость, содержащую только одну изъ составныхъ частей мѣла — известь, между тѣмъ какъ другая составная часть его — углекислота, которая была причиною шипѣнія, улетаетъ въ воздухъ, и т. д. Наконецъ

4. *Физіологія* содержитъ приложенія началъ Химіи и Физики къ органическимъ тѣламъ и объясняетъ различные жизненные процессы, каковы: пищевареніе, дыханіе, кровообращеніе и проч.

§ 2.

Въ этомъ сочиненіи мы будемъ исключительно заниматься Физикою, заимствуя изъ Химіи только тѣ главныя понятія, безъ которыхъ физическія явленія не могутъ быть совершенно поняты.

По обще принятому употребленію мы раздѣлимъ Физику на двѣ части. Первая занимается явленіями зависящими отъ свойствъ самыхъ тѣлъ; вторая разсматриваетъ тѣ изъ нихъ, которыхъ основаніемъ служатъ особенные дѣйствователи природы называемые невѣсомыми, потому что они при дѣйствіи своемъ не увеличиваютъ вѣса тѣлъ. Изъ нихъ до сихъ поръ извѣстны только слѣдующіе: свѣтъ, теплота, магнетизмъ и электричество.

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ

ФИЗИКИ,

О ВѢСОМЫХЪ.

ПЕРВОЕ ОТДѢЛЕНІЕ.

О СВОЙСТВАХЪ ТѢЛЪ.

§ 3.

Физическія явленія необходимо зависятъ отъ свойствъ тѣлъ, и потому мы должны прежде всего разсмотрѣть эти свойства. Иныя изъ нихъ принадлежатъ всѣмъ тѣламъ безъ исключенія—это *общія* свойства; другія присвоены только одному извѣстному классу тѣлъ и поэтому служатъ *отличительными* свойствами. Мы прежде разсмотримъ первыя и потомъ послѣднія.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ОБЪ ОБЩИХЪ СЬОЙСТВАХЪ ТѢЛЪ,

§ 4

Эти свойства тоже различны между собою, именно однѣ необходимы для понятія матеріи, другія, хотя всегда на-

ходятся въ матеріи, но онѣ не таковы, чтобы намъ невозможно было представить себѣ тѣла неимѣющаго этихъ свойствъ.

Къ необходимымъ свойствамъ матеріи принадлежатъ: *протяженіе* и *непроницаемость.* Въ самомъ дѣлѣ мы не можемъ представить себѣ ни одного тѣла, которое бы незанимало извѣстнаго пространства и слѣдовательно не было бы протяженно, хотя бы пространство это было очень мало. Но мы можемъ представить себѣ нѣчто занимающее пространство и вмѣстѣ не относящееся къ разряду тѣлъ; напримѣръ Геометрическія тѣла. Итакъ для полнаго понятія о тѣлѣ необходимо нѣчто занимающее пространство и притомъ непозволяющее другому тѣлу существовать въ одно и тоже время въ одномъ мѣстѣ. Это свойство тѣлъ мы называемъ непроницаемостію. Разсмотримъ подробнѣе то и другое.

§ 5.

Въ *протяженіи* мы различаемъ три измѣренія, которыя мы называемъ или: длиною, шириною и толщиною или: высотою, длиною и шириною или другими именами утвержденными обыкновеніемъ: мы считаемъ эти измѣренія отвѣсными другъ къ другу. Если мы хотимъ опредѣлить какое нибудь измѣреніе, то беремъ линію извѣстной длины за единицу и ищемъ, сколько разъ она, или доли ея содержатся въ данномъ измѣреніи. Для мѣры длины въ различныхъ Государствахъ приняты различныя единицы. Въ Россіи принятъ Англійскій футъ, котораго по возможности точнѣйшій образецъ приготовленъ въ 1836 году и хранится на монетномъ дворѣ въ С. Петербургѣ По Указу Государя Императора онъ долженъ быть

принятъ за нормальный Русскій футъ даже и тогда, когда бы въ слѣдствіе новыхъ сравненій нашли, что онъ еще немного разнится отъ Англійскаго. 7 Русскихъ футовъ составляютъ сажень; третья часть его называется аршиномъ и обыкновенно раздѣляется на 16 вершковъ. Русскій футъ, какъ и Англійскій, раздѣляется на 12 равныхъ частей, называемыхъ дюймами; каждый дюймъ опять раздѣленъ на 10 частей, именуемыхъ линіями. Въ общежитіи раздѣляютъ дюймъ также на 8 частей. 500 саженъ или 3500 футовъ составляютъ версту.

Во Франціи приняты двѣ мѣры: 1) Парижскій футъ (pied du roi) содержащій 12 дюймовъ; каждый дюймъ раздѣленъ на 12 линій; 6 футовъ составляютъ тоазъ (Toise); 2) Метръ (Mètre) или $\frac{1}{10000000}$ четверти меридіана. Онъ содержитъ 10 десиметровъ; каждый десиметръ 10 сантиметровъ; каждый сантиметръ 10 миллиметровъ.

Въ другихъ Государствахъ по большой части футъ также принятъ за единицу, но длина его почти въ каждой землѣ различна отъ длины въ другихъ земляхъ. Въ ученныхъ книгахъ обыкновенно употребляютъ или одну изъ двухъ мѣръ Французскихъ или Англійскій футъ. Слѣдующая таблица показываетъ приблизительное сравненіе этихъ единицъ:

	Русскій ф.	Парижской ф.	Метръ.
1 Русской футъ =	1	$\frac{15}{16}$	$\frac{7}{23}$
1 Парижской ф. =	$\frac{16}{15}$	1	$\frac{12}{37}$
1 Метръ =	$\frac{23}{7}$	$\frac{37}{12}$	1

Въ этомъ сочиненіи мы будемъ употреблять Русской футъ, съ исключеніемъ тѣхъ случаевъ, когда наименована будетъ другая мѣра

По этому и поверхности мы будемъ измѣрять квадратнымъ Русскимъ футомъ, а объемы кубическимъ футомъ.

§ 6.

Непроницаемость матеріи въ твердыхъ тѣлахъ не требуетъ доказательствъ: мы не можемъ положить твердаго тѣла на то мѣсто, гдѣ ужъ находится другое твердое, не вытѣснивъ послѣдняго. Когда станемъ вбивать клинъ въ кусокъ дерева, то увидимъ что частицы дерева отодвигаются въ сторону, и только по этой причинѣ клинъ входитъ въ дерево. Твердыя тѣла погружаются въ жидкости только потому, что ими вытѣсняются удободвижимыя частицы жидкостей изъ своихъ мѣстъ; это очень просто доказывается тѣмъ, что, когда погрузимъ твердое тѣло въ сосудъ наполненный водою до краевъ, то вода течетъ черезъ края. Непроницаемость воздуха, которому съ большимъ сомнѣніемъ можно было отнести это свойство, доказывается слѣдующимъ опытомъ: возмемъ стекляный сосудъ значительной вышины ABCD (фиг. 1) и нальемъ въ него воды до высоты FS; потомъ закроемъ пальцемъ верхній конецъ K трубки KL, открытой съ обоихъ концевъ, и нижнимъ концемъ L погрузимъ ее въ воду, какъ показано въ фигурѣ, тогда вода въ трубкѣ будетъ стоять ниже нежели въ сосудѣ, потому что содержащійся въ KM воздухъ неуступаетъ своего мѣста. Что въ этомъ именно состоитъ причина явленія видно изъ того, что, когда отнимемъ отъ верхняго конца палецъ и дадимъ воздуху свободный выходъ изъ трубки, то вода мгновенно поднимется въ ней до высоты M' равной высотѣ FS въ сосудѣ. Чтобы въ продолженіе опыта лучше можно было видѣть поверхность M, кладутъ на нее кусокъ пропки, или другое плавающее на водѣ тѣло.

§ 7.

На этомъ опытѣ, столь простомъ, основано устройство одного прибора, который въ большемъ видѣ ужъ принесъ существенную пользу, именно устройство водолазнаго колокола. Онъ состоитъ изъ металлическаго колокола ABC (фиг. 2[A]) или изъ четыреугольнаго ящика, въ которомъ можетъ помѣститься человѣкъ и который открытымъ концемъ BC опускается въ воду посредствомъ веревки FA; водолазъ сидитъ на доскѣ DE. Въ бокахъ колокола находятся отверстія закрытыя толстыми стеклами для того, чтобъ приходилъ свѣтъ. Непроницаемость воздуха заключеннаго въ колоколѣ непозволяетъ водѣ подняться далѣе высоты MN, такъ что водолазъ находится внѣ воды и можетъ дышать воздухомъ содержащимся въ колоколѣ. Водолазный колоколъ преимущественно служитъ для того, чтобы доставать жемчужныя раковины приросшія къ камнямъ лежащимъ на днѣ моря. Для этого водолазъ, какъ скоро увидитъ раковину, оставляетъ свое мѣсто, срываетъ ее съ камня и потомъ опять садится на доску DE; такимъ образомъ онъ можетъ оставаться подъ водою до тѣхъ поръ, пока воздухъ заключенный въ колоколѣ не сдѣлается отъ дыханія работника неспособнымъ для дальнѣйшаго дыханія. Тогда посредствомъ веревки, которой конецъ у него въ рукахъ, онъ даетъ знать, чтобъ его вытянули изъ воды. Для отвращенія порчи воздуха, прикрѣпляется при нѣкоторыхъ приборахъ сего рода къ верхней части колокола

гибкая, непроницаемая водою трубка, через которую посредствомъ сгустительнаго насоса можно возобновлять воздухъ въ колоколѣ.

§ 8.

Кромѣ этихъ общихъ двухъ свойствъ мы замѣчаемъ въ тѣлахъ и такія, которыя хотя не входятъ необходимо въ понятіе о тѣлѣ, но встрѣчаются во всѣхъ веществахъ. Эти свойства суть слѣдующія: *скважность*, *дѣлимость*, *недѣятельность*, *притяженіе* и, какъ слѣдствіе притяженія, *тяжесть*.

Подъ именемъ скважности разумѣется то общее свойство, по которому вещество тѣла или *матерія* несовершенно наполняетъ пространство, занимаемое тѣломъ, но оставляетъ между частицами его пустые промежутки называемые скважинами или порами. Доказательствомъ скважности служатъ слѣдующія явленія: можно пропустить ртуть черезъ плотнѣйшее дерево; изъ воды освобождаются пузыри воздуха черезъ кипяченіе, при чемъ объемъ воды неуменьшается и т. д. Итакъ мы представляемъ себѣ, что матерія тѣла составлена изъ непроницаемыхъ частицъ, между которыми находятся пустые промежутки. Обыкновенно въ опытной Физикѣ предполагаютъ, что матерія состоитъ изъ отдѣльныхъ непроницаемыхъ частицъ или атомовъ, которые не находятся въ прикосновеніи другъ съ другомъ, но удерживаются въ извѣстномъ отдаленіи силами притягательною и отталкивательною, о которыхъ послѣ мы будемъ говорить подробнѣе.

Если въ помощь къ притягательной силѣ присоединимъ еще внѣшнее давленіе, то атомы будутъ приближаться одинъ къ другому и тѣло займетъ меньшее пространство; если же напротивъ вмѣстѣ съ отталкивательною силою будетъ дѣйствовать на тѣло внѣшняя растягивающая сила, то атомы отдалятся одинъ отъ другаго и тѣло займетъ большее пространство. Итакъ сжимаемость и расширяемость матеріи суть свойства зависящія отъ скважности, и если по атомистической системѣ всѣ тѣла состоятъ изъ атомовъ и скважинъ, которыми они отдѣляются, то расширяемость и сжимаемость должны принадлежать къ общимъ свойствамъ матеріи, что въ самомъ дѣлѣ доказывается и на опытѣ

§ 9.

Дѣлимость матеріи нетребуетъ дальнѣйшихъ доказательствъ. Математически матерія дѣлима до безконечности, но въ атомистическомъ ученіи принято, что простые атомы физически недѣлимы и что слѣдовательно дѣленіе состоитъ только въ томъ, что извѣстное количество атомовъ отдѣляется отъ остальныхъ такъ далеко, что они перестаютъ дѣйствовать другъ на друга и слѣдовательно связь ихъ уничтожается.

На самомъ дѣлѣ можно продолжать дѣленіе очень далеко, однако никому неудалось при дѣленіи достигнуть до того, чтобы наконецъ какую нибудь частицу можно было считать за атомъ. Примѣръ дѣлимости простирающейся очень далеко представляетъ листовое золото, которое можно сдѣлать столь тонкимъ, что одинъ червонецъ даетъ 2000 квадратныхъ дюймовъ. Посредствомъ особеннаго прибора можно вытянуть платину въ проволоку толщиною $\frac{1}{30000}$ дюйма. Одна доля кармина примѣтнымъ образомъ окрашиваетъ полведра воды. Мускусъ наполняетъ своимъ запахомъ цѣлые покои, нисколько не теряя въ своемъ вѣсѣ, хотя онъ дѣйствуетъ на нервы нашего обонянія только тѣмъ, что тончайшія частицы его

растворяются въ воздухѣ. Вѣроятно что наибольшее дѣленіе имѣетъ мѣсто преимущественно въ царствѣ органическихъ тѣлъ. Въ одной каплѣ воды можно посредствомъ микроскопа открыть множество такъ называемыхъ наливочныхъ животныхъ; каждое изъ нихъ движется, слѣдовательно имѣетъ нервы и сосуды для своего питанія, въ сосудахъ обращается жидкость какъ въ нашемъ тѣлѣ кровь, и эта жидкость необходимо состоитъ изъ частицъ. Здѣсь воображеніе оставляетъ насъ и мы неможемъ больше преслѣдовать дѣленія.

Что касается до дѣленія нашихъ маштабовъ, то мы посредствомъ особенныхъ машинъ можемъ раздѣлить дюймъ на 10000 частей, которыя, если смотрѣть на нихъ въ микроскопѣ, кажутся ясными и правильными, хотя для простаго глаза онѣ кажутся какъ шлифованная по неполированная поверхность.

Обыкновенно непосредственное дѣленіе не простираютъ такъ далеко, но производятъ мельчайшее дѣленіе посредствомъ такъ называемаго *ноніуса*. Представимъ себѣ маштабъ АВ (фиг. 2 [В]) раздѣленный на линіи и положимъ, что при какомъ нибудь измѣреніи мы хотимъ означить и десятыя части линіи. Для этого возмемъ особенную линейку CD, отмѣтимъ на ней растояніе 9 линіи и раздѣлимъ это растояніе на 10 равныхъ частей. У нижней черты дѣленія напишемъ 0, у верхней 10. Эта маленькая линейка называется *ноніусомъ*. Очевидно, что каждая часть его будетъ одною десятою короче части маштаба, ибо длина 9 линій на маштабѣ раздѣлена на 9, но на ноніусѣ на 10 частей. Если мы теперь хотимъ измѣрить какую нибудь длину данную, то возмемъ ее циркулемъ; потомъ одну ножку его поставимъ на 0 маштаба и положимъ, что другая ножка его М упадетъ между 16 и 17

линіею маштаба, такъ что измѣряемая длина заключаетъ 16 линіи и еще дробь линіи. Чтобы узнать точнѣе, какъ велика эта дробь, приложимъ ноніусъ къ маштабу такъ, чтобы 0 его упалъ на томъ мѣстѣ, гдѣ ножка М лежитъ. Если бы часть, которою измѣряемая длина болѣе 16 линіи, была $\frac{1'''}{10}$ то черта 1 ноніуса упала бы на продолженіи 17 линіи маштаба, потому что 1 часть ноніуса именно $\frac{1}{10}$ короче части маштаба; если бы оная часть была $\frac{2'''}{10}$, то черта 2 ноніуса совпадала бы съ чертою 18 маштаба и т. д. Въ нашемъ чертежѣ ростояніе это $\frac{4}{10}$ длинѣе 16 линіи, слѣд. черта 4 ноніуса совпадаетъ съ чертою маштаба.

Вообще мы имѣемъ правило: когда приложимъ ноніусъ къ маштабу, такъ чтобы 0 его совпадалъ съ точкою, которой растояніе отъ 0 маштаба хотимъ узнать, то мы прежде должны считать цѣлыя части на маштабѣ (въ нашемъ примѣрѣ 16), потомъ смотрѣть, какая черта ноніуса совпадаетъ съ чертою маштаба (у насъ 4), число стоящее при этой чертѣ ноніуса даетъ десятыя части.

Совершенно подобнымъ образомъ мы получимъ сотыя части дѣленія маштаба, если 99 частей его на ноніусѣ раздѣлимъ на 100 частей и т. д. Но чѣмъ меньше эти части, тѣмъ труднѣе бываетъ опредѣлить, какая черта ноніуса совпадаетъ съ чертою маштаба. Если мы 59 частей маштаба раздѣлимъ на 60 частей, то мы получимъ одну шестидесятую часть маштаба. Такимъ образомъ раздѣляютъ градусы круга на минуты; но тогда и ноніусъ также долженъ быть дугообразный, для того чтобъ можно было приложить его къ раздѣленному кругу.

§ 10.

Недѣятельность есть такое свойство по которому: 1) если тѣло находится въ покоѣ, то останется въ покоѣ до тѣхъ поръ, пока какою нибудь силою невыведено будетъ изъ него; 2) когда же оно приведено въ движеніе, то оно не перемѣнитъ этого движенія и продолжаетъ его по прямой линіи, пока не станетъ дѣйствовать на него какая нибудь сила. Шаръ катится по плоскости, хотя сила руки, сообщившая ему толчекъ, ужъ перестала дѣйствовать и мы по причинамъ, которыя въ послѣдствіи изъяснимъ, можемъ сказать съ увѣренностію, что шаръ катился бы въ этомъ направленіи до безконечности, еслибы движенію его не представились препятствія какъ то: неровность плоскости, треніе, сопротивленіе воздуха и т. д. Теченіе планетъ также зависитъ частію отъ упорства сохранить то движеніе, которое сообщено было имъ при сотвореніи міра, частію отъ другой силы непрерывно дѣйствующей на нихъ, и извѣстной подъ именемъ центростремительной. Отъ недѣятельности зависитъ и то, что мы падаемъ въ то время, какъ скоро идущая лодка толкается о берегъ; также, если для утвержденія топора на рукояткѣ мы ударяемъ противнымъ концемъ ея объ полъ.

§ 11.

Притяженіе есть также общее свойство матеріи, но мы обыкновенно называемъ его силою, потому что оно часто бываетъ непосредственною причиною движенія. Оно состоитъ въ слѣдующемъ:

Два тѣла, въ какомъ бы разстояніи онѣ ни находились одно отъ другаго, имѣютъ стремленіе приближаться другъ

къ другу и въ слѣдствіе сего стремленія въ самомъ дѣлѣ приближаются, если никакая посторонняя сила не противодѣйствуетъ движенію ихъ. При этомъ каждый атомъ одного тѣла притягиваетъ каждый атомъ другаго и то такимъ образомъ, что при двойномъ разстояніи притягательная сила бываетъ въ 4 раза, при тройномъ въ 9 разъ и т. д. слабѣе, нежели при простомъ разстояніи. Этотъ законъ математически выражается такъ: притягательная сила дѣйствуетъ въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстояній.

Притягательная сила называется различными именами смотря по обстоятельствамъ, при которыхъ она дѣйствуетъ. Притягательная сила, оказываемая небесными тѣлами другъ на друга, называется *тяготѣніемъ*; притяженіе, оказываемое частями земнаго шара на тѣла, находящіяся на его поверхности, называется *тяжестію*; притяженіе, оказывающееся при соприкосновеніи твердыхъ тѣлъ между собою, называется *сцѣпленіемъ*, жидкостей съ твердыми тѣлами *прилипаніемъ*, и т. д.

На земной поверхности значительное вліяніе на явленія имѣетъ тяжесть, или притяженіе тѣлъ землею. Доказательствомъ этого служитъ паденіе тѣлъ, ни чѣмъ не поддерживаемыхъ. Направленіе паденія тѣлъ всего лучше опредѣляется помощію отвѣса, т. е. нити, на которой свободно виситъ тяжелое тѣло; это направленіе называется вертикальнымъ, а плоскость, перпендикулярная къ сему направленію, имѣетъ названіе горизонтальной плоскости. Если остановить чѣмъ нибудь паденіе тѣла, если напр. держать его въ рукѣ, то стремленіе тѣла къ паденію производитъ нѣкоторое давленіе на руку, что мы называемъ *вѣсомъ* тѣла. Такъ какъ каждый атомъ имѣетъ одинакое стремленіе къ паденію, то вѣсъ долженъ быть пропорціоналенъ числу атомовъ, или, какъ обыкновенно говорятъ, *массѣ* тѣла.

§ 12.

Опредѣлять вѣсъ различныхъ тѣлъ значитъ принять за единицу извѣстный вѣсъ и узнать, сколько такихъ единицъ или частей единицы содержится въ искомомъ вѣсѣ. Въ различныхъ Государствахъ принимаются за единицу различныя мѣры. Въ Россіи единицею вѣса принятъ фунтъ, котораго нормальный образецъ хранится въ С. Петербургскомъ монетномъ дворѣ. Онъ дѣлится на 96 золотниковъ и каждый золотникъ на 96 долей. 40 фунтовъ составляютъ пудъ. Во Франціи единицею вѣса избранъ кубическій сантиметръ чистой воды, при температурѣ 3,2° нашего термометра, извѣстнаго подъ именемъ Реомюрова; эта единица называется грамомъ. Онъ раздѣляется на 10 десиграмовъ, десиграмъ на 10 сантиграмовъ и сантиграмъ на 10 миллиграмовъ. 1000 грамовъ составляютъ килограмъ.

Въ прочихъ Государствахъ единица вѣса обыкновенно называется фунтомъ; но онъ въ каждомъ Государствѣ имѣетъ различную величину. Впередъ мы будемъ употреблять только Русскій фунтъ и его части; но въ ученыхъ книгахъ почти исключительно слѣдуютъ счисленію грамовъ и уже по нему вычислены многія таблицы. Отношеніе грамовъ къ Россійскому вѣсу можно видѣть въ слѣдующей таблицѣ:

1. Килограмъ $=2\frac{3}{7}$ Рус. фунта.	1 Рус. фунтъ $=\frac{7}{17}$ килогр.
1. Грамъ $=22\frac{1}{2}$ долямъ.	1 Золотникъ $=4\frac{1}{4}$ грама
1. Миллиграм. $=\frac{9}{400}$ доли.	1 Доля $=44\frac{1}{2}$ миллиг.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

ОБЪ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХЪ СВОЙСТВАХЪ ТѢЛЪ.

§ 13.

Свойства, которыя мы до сихъ поръ разсматривали, принадлежатъ всѣмъ тѣламъ безъ исключенія; теперь мы разсмотримъ такія, которыми тѣла отличаются другъ отъ друга. Онѣ могутъ быть раздѣлены на физическія и химическія.

А. *Отличительныя свойства Физическія.*

Сюда относятся прежде всего такія свойства, по которымъ тѣла раздѣляются на твердыя, жидкія и газообразныя (воздухообразныя).

Твердымъ называется тѣло, котораго частицы такъ крѣпко соединены между собою сцѣпленіемъ, что требуется значительная сила для того, чтобъ отдѣлить ихъ другъ отъ друга. Примѣромъ могутъ служить: дерево, камни, металлы и проч.

Жидкимъ называется тѣло, если частицы его малѣйшею силою могутъ быть передвинуты съ мѣста на мѣсто. Такое перемѣщеніе можетъ произойти даже отъ собственной тяжести частицъ; по этому жидкія тѣла не имѣютъ собственной постоянной формы и должны быть содержимы въ сосудахъ. Сюда относятся вода, масла, спиртъ, ртуть и друг. При всемъ томъ частицы жидкихъ тѣлъ имѣютъ взаимное притяженіе; это слѣдуетъ изъ того, что, если погрузить стеклянную палочку въ воду или масло, и потомъ вынуть ее, то на концѣ ея остается капля, значи-

тельной величины, которая свободно виситъ на ней, не упадая внизъ. Здѣсь нижнія частички капли очевидно держатся притяженіемъ верхнихъ.

Газообразныя или воздухообразныя тѣла суть равнымъ образомъ тѣла жидкія, т. е. ихъ частицы могутъ быть весьма легко перемѣщаемы, но сверхъ того онѣ имѣютъ способность отталкиваться взаимно, такъ что нужно внѣшнее давленіе или другая сила для того, чтобъ удерживать ихъ въ соединеніи. По этому тѣла сюда относящіяся не могутъ быть сохраняемы въ открытыхъ сосудахъ, подобно жидкостямъ, но должны быть запираемы со всѣхъ сторонъ, какъ то: въ стеклянныхъ шарахъ, пузыряхъ и проч. Примѣръ газообразныхъ тѣлъ всего лучше представляетъ намъ воздухъ. Если наполнить воздухомъ пузырь и крѣпко завязавши его положить въ безвоздушное пространство, которое можно произвести помощію ниже описаннаго воздушнаго насоса, то воздухъ заключенный въ пузырѣ, въ слѣдствіе взаимнаго оттолкновенія частицъ, расширяется во всѣ стороны и пузырь лопаетъ. Это мы подробнѣе увидимъ въ послѣдствіи.

§ 14.

Другимъ отличительнымъ качествомъ тѣлъ служитъ ихъ различная плотность. Мы уже выше замѣтили, что плотность тѣлъ по теоріи атомистической опредѣляется суммою матеріальныхъ частицъ, заключающихся въ извѣстномъ пространствѣ, и что слѣдовательно по причинѣ равнаго вѣса частицъ, плотность тѣлъ пропорціональна ихъ вѣсу при равномъ объемѣ. Возмемъ опредѣленный объемъ, напримѣръ кубическій дюймъ воды и гранита и опредѣлимъ средствами, которыя вскорѣ будутъ показаны, вѣсъ этой единицы для того и другаго тѣла; получимъ:

для воды вѣсъ равенъ 3,84 золотника
— гранита . . . . 10,37 . . . . . .

Плотности тѣлъ пропорціональны этимъ числамъ и если принять за единицу какую либо одну изъ этихъ плотностей; то можно сравнивать съ нею всѣ прочія. Этою единицею согласились принимать плотность чистой воды. Посему плотность, напримѣръ, гранита найдется изъ пропорціи:

$$1 : x = 3,84 : 10,37$$

откуда получится $x = 2,70$. Итакъ 2,70 будетъ отношеніе плотности гранита къ плотности воды; такимъ образомъ выражаемую плотность называютъ *удѣльнымъ вѣсомъ*.

Обратно по удѣльному вѣсу гранита легко вычислить вѣсъ какого нибудь даннаго объема его, если только извѣстенъ абсолютный вѣсъ извѣстнаго объема воды. Положимъ напр. что требуется опредѣлить вѣсъ Александровской колонны, которая, какъ извѣстно, состоитъ вся изъ цѣльнаго камня; мы знаемъ, что она имѣетъ 84 фута длины и 14 футовъ въ діаметрѣ. Стереометрія даетъ намъ объемъ колоны $= 7^2 \times 3,14 \times 84 = 12924\frac{1}{4}$ кубическихъ футовъ. Вѣсъ кубическаго фута воды найдется, когда мы вѣсъ кубическаго дюйма помножимъ на число кубическихъ дюймовъ, содержащихся въ одномъ кубическомъ футѣ, т. е. на 1728 и такимъ образомъ вѣсъ кубическаго фута воды будетъ $= 69,12$ фунта. Еслибъ гранитъ имѣлъ такую же плотность, какъ и вода, то вѣсъ колонны заключалъ бы въ себѣ $69,12 \times 12924\frac{1}{4} = 893324,2$ фунтовъ $= 22333,104$ пудовъ. Но какъ гранитъ тяжелѣе воды въ 2,7 раза, то мы должны найденный вѣсъ умножить на это число, и тогда получимъ вѣсъ цѣлой колонны, если отбросить дробь, $= 60299$ пуда.

B. *Отличительныя свойства химическія*

§ 15.

Химія научаетъ насъ, что тѣла, по ихъ внутреннему составу частей, весьма различны между собою; она показываетъ, что большая часть тѣлъ состоитъ изъ другихъ совершенно на нихъ не похожихъ, но что есть и такія, которыя, до сихъ поръ по крайнѣй мѣрѣ, никакими средствами не могли быть разложены на дальнѣйшія составныя части и потому она признала ихъ за *простыя* тѣла. Мы разсмотримъ здѣсь подробнѣе нѣкоторые изъ результатовъ произведенныхъ химіею, потому что безъ нихъ въ послѣдствіи мы не будемъ въ состояніи понимать многаго.

Атмосферный воздухъ, въ которомъ мы живемъ и которымъ дышемъ, не принадлежитъ къ простымъ тѣламъ. Въ этомъ можно удостовѣриться слѣдующимъ образомъ: возмемъ кусочекъ пробки и положимъ на него немного фосфору—тѣла принадлежащаго къ числу до селѣ неразложенныхъ, (его держатъ во всякой Аптекѣ) — и положимъ оба тѣла на поверхность воды, на которой они будутъ плавать; потомъ возмемъ стеклянную трубку, запаянную съ одного конца и опустимъ ее открытымъ концемъ на поверхность воды, какъ это показано въ фигурѣ 4, въ которой CD представляетъ поверхность воды, AB трубку, K пропку, *пр* фосфоръ. Нетрудно поставить трубку такъ, чтобы въ ней вода стояла на одинаковой высотѣ съ высотою воды въ сосудѣ. Оставимъ этотъ приборъ до слѣдующаго дня, не дотрогиваясь до него; на другой день увидимъ, что вода и плавающая на ней пропка будутъ стоять выше, нежели вода внѣ трубки, именно на высотѣ, показанной линіею K′. Въ слѣдствіе непроницаемости матеріи это могло случиться только тогда, когда бы часть

воздуха въ трубкѣ AB уничтожилась. Оставимъ этотъ приборъ еще на одни сутки; по прошествіи ихъ мы не найдемъ никакой перемѣны въ воздухѣ, оставшемся въ трубкѣ; тоже будетъ и на третій день. Изъ этаго опыта явно слѣдуетъ, что по прошествіи сутокъ, оставшійся въ AK′ воздухъ долженъ быть отличенъ отъ того, который изчезъ по прошествіи первыхъ сутокъ, и что слѣд. атмосферный воздухъ состоитъ изъ двухъ различныхъ газовъ; одинъ изъ нихъ изчезаетъ отъ дѣйствія фосфора, а другой не подверженъ его вліянію. Въ Химіи этотъ и подобные ему опыты произведены со всевозможнымъ стараніемъ и разсмотрѣніемъ всѣхъ обстоятельствъ, которыя могутъ имѣть вліяніе на это явленіе, но которыя мы здѣсь не можемъ изложить подробнѣе. Такимъ образомъ нашли, что воздухъ содержитъ 21 процентъ газа, который изчезаетъ отъ дѣйствія фосфора и который называется *кислородомъ*, и 79 процентовъ остающагося газа, не подверженнаго вліянію фосфора; газъ этотъ названъ *азотомъ*. Эти газы имѣютъ свойства совершенно различныя. Если въ склянку, наполненную азотомъ, опустимъ горящую деревянную спичку, то она мгновенно гаснетъ; если посадимъ въ эту склянку какое нибудь животное, то оно умираетъ. Если напротивъ опустимъ горящую спичку въ сосудъ, наполненный кислородомъ, то она горитъ здѣсь болѣе яркимъ пламенемъ, нежели въ воздухѣ, и едва тлѣющая спичка тотчасъ загорается; если опустимъ въ кислородъ стальную пружину, къ концу которой прикрѣпленъ кусочекъ тлѣющаго труту, то даже стальная пружина будетъ горѣть, разбрасывая яркія искры. Слѣд. кислородъ имѣетъ свойство поддерживать дыханіе и горѣніе и если тѣла горятъ, и животныя дышатъ въ атмосферномъ воздухѣ, то это зависитъ только отъ 21 процента кислорода, находящагося въ немъ, тогда

какъ азотъ совершенно при этихъ явленіяхъ не дѣйствуетъ. При горѣніи кислородъ изчезаетъ и Химія показываетъ, что это зависитъ отъ того, что онъ соединяется съ горящимъ тѣломъ и изъ газообразнаго состоянія переходитъ въ твердое или жидкое. При дыханіи онъ соединяется съ веществомъ, содержащимся въ крови и называемымъ *углеродомъ*; но въ этомъ соединеніи, называемомъ *углекислотою*, онъ остается газомъ, который смѣшанъ съ выдыхаемымъ воздухомъ и черезъ это дѣлаетъ его неспособнымъ для дыханія.

Углеродъ самъ по себѣ находится въ природѣ въ твердомъ состояніи, какъ обыкновенный древесный уголь, но кромѣ того въ другомъ тѣлѣ, по видимому весьма отличномъ отъ угля т. е. въ алмазѣ. Если въ одномъ состояніи онъ черенъ а въ другомъ совершенно прозраченъ, то это зависитъ только отъ расположенія малѣйшихъ частицъ его или атомовъ, а не отъ химическаго различія. Если въ сосудъ наполненный кислородомъ положимъ алмазъ и зажжемъ его посредствомъ сильнаго зажигательнаго стекла, то онъ сгараетъ безъ остатка и соединяясь съ кислородомъ образуетъ углекислоту, газъ тотъ самый, который мы получимъ, если вмѣсто алмаза возмемъ кусокъ угля и о которомъ мы говорили при дыханіи. Таже углекислота въ видѣ пузырьковъ отдѣляется и изъ пѣнящихся напитковъ, напр. изъ шампанскаго, и изъ кислыхъ цѣлительныхъ водъ напр. изъ Нарзана и Зельтерской воды.— Итакъ кромѣ фосфора мы узнали еще три простые тѣла, которые часто намъ будутъ встрѣчаться: кислородъ, азотъ и углеродъ.

§ 16.

Другое простое тѣло заключается въ водѣ и потому называется *водородомъ*. Вода состоитъ изъ водорода и

кислорода и по этому, какъ и воздухъ, не принадлежитъ къ стихіямъ, къ которымъ причисляли ее прежде по незнанію. Если станемъ кипятить воду и пары ее пропустимъ черезъ раскаленную желѣзную трубку, въ которой кромѣ того находится разскаленная желѣзная проволока, то изъ другаго конца трубки не будутъ выходить пары, но водородный газъ. Если конецъ желѣзной трубки, черезъ которую проходятъ пары, погрузимъ въ воду, то газъ будетъ выходить въ видѣ пузырей; если къ одному изъ этихъ пузырей приблизимъ пламя свѣчи, то выходящій изъ него газъ горитъ съ небольшимъ трескомъ. Итакъ водородъ отличается отъ другихъ газовъ своею горючестію. Обыкновенно приготовляютъ его другимъ способомъ: для этого наливаютъ купороснаго масла, раствореннаго водою, на желѣзные или цинковые опилки. Если будемъ это производить въ склянкѣ (фиг. 5) закрытой пропкою B, черезъ которую проходитъ тонкая стеклянная трубка CD и подождемъ немного (около 10 минутъ), пока содержащійся въ склянкѣ воздухъ не будетъ вытесненъ освобождающимся водородомъ, то мы можемъ зажечь газъ, выходящій изъ трубки CD; онъ будетъ горѣть слабымъ синеватымъ пламенемъ до тѣхъ поръ, пока будетъ оставаться газъ. Если въ закрытомъ стеклянномъ шарѣ, наполненномъ кислородомъ, зажжемъ водородъ, проходящій въ шаръ черезъ трубку, то онъ будетъ горѣть, какъ въ воздухѣ и отъ двухъ газовъ будетъ образоваться вода. Если оба газа прежде взвѣсимъ и потомъ взвѣсимъ воду, образовавшуюся изъ нихъ, то найдемъ, что вѣсъ воды равенъ суммѣ вѣса обоихъ газовъ.

Такимъ образомъ въ Химіи несомнѣнно доказывается, что вода есть соединеніе этихъ двухъ газовъ и притомъ такое соединеніе, что два объема водорода соединяются съ однимъ объемомъ кислорода. Если въ такой пропор-

ціи смѣшаемъ эти два газа, то мы получимъ только смѣсь газовъ а не воду; но если этой смѣси коснется пламя или искра, то они мгновенно соединятся съ сильнымъ взрывомъ, такъ что, если бы эта смѣсь была зажжена въ стеклянномъ шарѣ, то онъ былъ бы разбитъ въ мелкіе куски и безъ сомнѣнія сильно повредилъ бы наблюдателю. Такая смѣсь, изъ двухъ объемовъ водорода и одного кислорода, называется по этой причинѣ *гремучимъ воздухомъ*. По этой то особенной причинѣ при освобожденіи водорода въ склянкѣ нужно для зажиганія подождать немного, пока невыдетъ изъ нее весь атмосферный воздухъ, а иначе освобождающійся водородъ образуетъ съ кислородомъ атмосфернаго воздуха гремучій воздухъ и когда мы станемъ зажигать газъ выходящій изъ трубки, то склянка легко лопнетъ и повредитъ присутствующимъ при этомъ опытѣ; по этой же причинѣ при составленіи воды должно впускать въ кислородъ водородъ только мало помалу и зажигать его немедленно для того, чтобъ онъ собравшись въ большемъ количествѣ не сдѣлалъ взрыва.

§ 17.

Четыре описанные нами простые тѣла, между которыми три принадлежатъ къ газамъ, именно: кислородъ, водородъ и азотъ, и четвертое углеродъ къ твердымъ тѣламъ, весьма часто встрѣчаются въ природѣ. Они соединяются во первыхъ между собою по два; мы уже знаемъ нѣкоторыя изъ этихъ соединеній. Прежде нежели станемъ разсматривать подробно еще нѣкоторыя изъ нихъ, часто встрѣчающіяся въ общежитіи, мы должны сказать нѣчто объ образѣ химическаго соединенія вообще. Если два тѣла соединяются химически, то это происходитъ такъ, что опре-

дѣленное количество одного тѣла, соединяется съ опредѣленнымъ количествомъ другаго, такъ что если одного тѣла прибавимъ болѣе, нежели сколько нужно для химическаго соединенія, то эта лишняя часть остается не соединенною. Если напр. въ двухъ кубическихъ футахъ кислорода сожжено два кубическихъ фута водорода, то уничтожается одинъ только кубическій футъ кислорода и составляетъ съ двумя кубическими футами водорода воду, какъ мы видѣли выше, а другой кубическій футъ кислорода остается несоединеннымъ. Если опредѣлить отношеніе составныхъ частей по вѣсу, то одна часть водорода требуетъ 8,013 кислорода Впрочемъ при этомъ мы не говоримъ, что кислородъ только въ этой пропорціи соединяется съ водородомъ; мы только утверждаемъ что эти два газа должны соединятся въ этой пропорціи для составленія воды. Въ самомъ дѣлѣ кислородъ составляетъ съ водородомъ другое соединеніе, не встрѣчающееся въ общежитіи, называемое въ Химіи перекисью водорода, и имѣющее свойства совершенно отличныя отъ свойствъ воды. Между тѣмъ и это соединеніе происходитъ въ совершенно опредѣленной пропорціи, именно такъ, что по вѣсу на одну часть водорода идетъ 16,026 частей кислорода. Если сравнимъ это количество кислорода, съ количествомъ потребнымъ для образованія воды, которое по выше приведенному равно 8,013, то увидимъ, что это послѣднее количество составляетъ половину перваго. Подобное обстоятельство всегда имѣетъ мѣсто въ Химіи; какъ скоро два тѣла соединяются между собою во многихъ пропорціяхъ, всегда количество тѣла В, соединяющагося съ однимъ и тѣмъ же количествомъ тѣла А, для составленія различныхъ продуктовъ, находится въ совершенно простыхъ пропорціяхъ: или какъ 1 : 2 или какъ 2 : 3, или какъ 3 : 4. Такою опредѣленною пропорціею въ

своихъ соединеніяхъ отличаются собственно химическія соединенія отъ простыхъ смѣсей или растворовъ. Такъ напр. вода и вино соединяются во всѣхъ возможныхъ пропорціяхъ, но отъ этаго соединенія не происходитъ новое тѣло, совершенно отличное отъ содержащихся составныхъ частей, какъ напр. отлична вода отъ водорода и кислорода; но мы можемъ въ этой смѣси даже однимъ вкусомъ узнать, изъ чего она состоитъ. Къ смѣсямъ принадлежитъ и атмосферный воздухъ. Также растворъ соли въ водѣ не есть совершенно химическое соединеніе и мы можемъ удобно различать составныя части смѣси; только здѣсь имѣетъ мѣсто то различіе, что хотя вода растворяетъ какое угодно количество соли, но только до извѣстнаго предѣла; когда въ водѣ растворилось количество соотвѣтствующее этому предѣлу, то больше ни одна часть не растворится, и тогда говоримъ, что растворъ насыщенъ солью.

§ 18.

Разсмотрѣвши кратко образъ химическихъ соединеній, мы опять обращаемся къ двойнымъ соединеніямъ, происходящимъ изъ 4 простыхъ тѣлъ нами описанныхъ и чаще другихъ встрѣчающихся.

Мы уже видѣли, что атмосферный воздухъ собственно не есть химическое соединеніе кислорода съ азотомъ, но простая смѣсь. Но мы знаемъ также 4 настоящія химическія соединенія кислорода съ азотомъ, изъ которыхъ особенно одно важно, именно *азотная* или *селитряная кислота*, которая будучи растворена водою продается въ аптекахъ подъ именемъ *крѣпкой водки*. Дѣйствіе ея на тѣла очень сильно; она растворяетъ почти всѣ металлы кромѣ золота и платины, разлагаетъ всѣ органическія вещества;

по этому, если она прольется на платье, то производитъ дыры; кожа отъ нея желтѣетъ.

Водородъ соединяется также съ азотомъ и составляетъ *аммiакъ*—вещество отличающееся острымъ и проницательнымъ запахомъ (и потому онъ употребляется въ случаѣ обмороковъ).

Водородный газъ составляетъ съ углеродомъ значительное количество соединеній; изъ нихъ мы упомянемъ только объ *углеродистомъ двухводородномъ газѣ*, потому что это тотъ самый газъ, который при нашемъ газоосвѣщеніи горитъ блестящимъ яркимъ пламенемъ. Для сей цѣли онъ добывается черезъ сожиганіе горючихъ тѣлъ напр. дерева, каменнаго угля, жирныхъ веществъ, въ закрытыхъ желѣзныхъ сосудахъ, подвергаемыхъ сильному жару; освобождающійся при этомъ газъ проводится трубкою въ газометръ, который состоитъ изъ желѣзнаго ящика, погруженнаго открытою стороною въ воду. Изъ этого ящика проводится газъ въ тѣ мѣста, гдѣ онъ нуженъ для освѣщенія и при выходѣ изъ трубъ зажигается.

§ 19.

Кромѣ двойныхъ соединеній, изъ которыхъ мы разсмотрѣли подробно только нѣкоторыя, встрѣчаются въ природѣ безчисленное множество тройныхъ и четверныхъ соединеній изъ описанныхъ 4 веществъ. Такимъ образомъ всѣ произведенія растительнаго царства, съ не большимъ исключеніемъ, суть соединенія кислорода, ворода и углерода; произведенія царства животныхъ кромѣ того обыкновенно содержатъ и азотъ. Если кусокъ дерева, которое также составлено изъ кислорода, водорода и углерода, подвергнемъ сильному жару и притомъ дадимъ мѣсто сво-

бодному притоку атмосфернаго воздуха, то оно наконецъ начнетъ горѣть; при этомъ связь составныхъ частей уничтожится и образуются новыя соединенія. Часть углерода соединится съ водородомъ и составитъ углеводородный газъ, который по легкости своей подымается вверхъ и какъ скоро приходитъ въ прикосновеніе съ атмосфернымъ воздухомъ загорается и образуетъ то, что называется пламенемъ. Отъ горѣнія жаръ поддерживается и способствуетъ къ дальнѣйшему разложенію дерева. И такъ пламя есть собственно сгарающая оболочка углеводороднаго газа, безпрестанно отдѣляющагося отъ дерева. При этомъ сгараетъ также часть водороднаго газа, но только съ кислородомъ находящимся въ деревѣ, и производитъ снизу синеватую часть пламени. Такимъ же образомъ горятъ обыкновенныя сальныя и восковыя свѣчи. Изъ этаго видно, что свѣтъ газоваго освѣщенія есть ничто иное, какъ свѣтъ нашихъ обыкновенныхъ сальныхъ свѣчей (особенно если газъ приготовленъ изъ сала) и все различіе состоитъ только въ томъ, что въ обыкновенныхъ свѣчахъ газъ горитъ въ то время, и на томъ мѣстѣ, гдѣ онъ освобождается, а въ газоосвѣщеніи процессъ освобожденія газа отдѣленъ отъ процесса горѣнія и что газъ проходитъ черезъ трубы, пока онъ придетъ въ прикосновеніе съ воздухомъ и будетъ зажженъ.

§ 20.

Кромѣ четырехъ простыхъ тѣлъ, о которыхъ мы до сихъ поръ говорили, находятся еще нѣкоторыя именно: фосфоръ, сѣра, селенъ, хлоръ, бромъ, іодъ, фторъ, кремній и наконецъ 42 металла.

Фосфоръ получается изъ костей и другихъ животныхъ веществъ; онъ мягокъ, какъ воскъ, такъ что его можно рѣзать; на воздухѣ дымится и загорается очень легко, стоитъ только нагрѣть его до 28°; въ темнотѣ свѣтится,-это есть другой образъ горѣнія, при которомъ онъ также соединяется съ кислородомъ, но медленно. Этимъ медленнымъ соединеніемъ воспользовались мы при опытѣ (§ 15), показывавшемъ составъ воздуха. Свѣченіе фосфора всего лучше показать можно, если растворить фосфоръ въ маслѣ, отъ чего составляется родъ помады; ею намазываютъ тѣ части, которыя хотятъ сдѣлать свѣтящимися. При горѣніи фосфоръ образуетъ съ кислородомъ соединеніе извѣстное подъ именемъ фосфористой кислоты.

Сѣра встрѣчается въ природѣ самородная, напр. въ кратерахъ вулкановъ. Она плавится при температурѣ, которая нѣсколькими градусами выше температуры кипящей воды; если нагрѣвать ее еще больше, то она превращается въ бурую тягучую массу, которая, если ее вылить въ воду, медленно твердѣетъ и потому употребляется для дѣланія отпечатковъ монетъ или моделей. Сѣра составляетъ съ кислородомъ нѣсколько соединеній, изъ которыхъ два больше всѣхъ встрѣчаются, именно: *Сѣристая кислота*, образующаяся при горѣніи сѣры, и производящая при этомъ острый запахъ, и *Сѣрная кислота*, которая въ общежитіи извѣстна подъ именемъ купороснаго масла и есть одна изъ самыхъ крѣпкихъ кислотъ, какова азотная кислота. Она жадно соединяется съ водою и притягиваетъ къ себѣ влажность изъ воздуха, при чѣмъ смѣсь сильно нагрѣвается. По этому при смѣшеніи этой кислоты съ водою нужно вливать кислоту въ воду а не наоборотъ воду въ кислоту, потому что въ послѣднемъ случаѣ первыя влившіяся капли воды, такъ сильно нагрѣваются, что онѣ тотчасъ обращаются въ пары и выбрасываютъ кислоту. Сѣрная кислота сильно дѣйствуетъ на всѣ тѣла; она раство-

рѣетъ многіе металлы, но для этаго она должна быть соединена съ водою; она обугливаетъ растительныя вещества, т. е. измѣняетъ ихъ такъ, что другія составныя части освобождаются и остается одинъ уголь. Сѣра также и съ водородомъ составляетъ соединенія, между которыми особенно замѣчательна *сѣрнистоводородная* кислота; она отличается весьма противнымъ запахомъ, который свойственъ протухлымъ яйцамъ. Если его вдыхать, то онъ дѣйствуетъ, какъ сильный ядъ; полированныя металлы отъ дѣйствія его теряютъ свой блескъ.

Хлоръ есть желтый газъ, имѣющій особенный, крѣпкій запахъ. Такъ какъ онъ разрушаетъ растительныя цвѣта, то его употребляютъ, въ смѣшеніи съ водою, для бѣленія матерій; для этаго спрыскиваютъ матерію хлористою водою. Онъ уничтожаетъ такъ называемыя *міасмы*, т. е. для здоровья вредныя, газообразныя находящіяся въ воздухѣ вещества; потому онъ употребляется въ гошпиталяхъ для очищенія воздуха и въ карантинахъ для окуриванія людей и вещей во время заразительныхъ болѣзней, напр. во время чумы. Для окуриванія онъ употребляется въ видѣ хлористой извести; т. е. въ соединеніи съ известью; или въ видѣ хлористой воды. Хлоръ соединяется со всѣми простыми веществами; мы упомянемъ здѣсь только о *хлористоводородной* кислотѣ, которая послѣ сѣрной и азотной есть одна изъ сильнѣйшихъ кислотъ. Въ соединеніи съ металломъ натріемъ хлоръ составляетъ поваренную соль, изъ которой онъ и добывается; для этаго смѣшиваютъ его съ ископаемымъ, называемымъ марганцомъ и съ сѣрной кислотою и смѣсь нагрѣваютъ.

Остальныя не металлическія простыя вещества такъ рѣдко попадаются въ природѣ и столь мало имѣютъ вліянія на явленія, встрѣчающіяся въ общежитіи, что мы здѣсь можемъ со всѣмъ не говорить объ нихъ. Обратимся теперь ко второму классу простыхъ тѣлъ, къ *металламъ*.

§ 21.

Общія свойства *металловъ* состоятъ въ томъ, что они плавки, непрозрачны и самые плотные изъ всѣхъ тѣлъ встрѣчающихся въ природѣ. Кромѣ того отъ полировки они получаютъ свойственный имъ блескъ, который и называется металлическимъ блескомъ. Плавкость ихъ весьма различна. Ртуть уже при 32° ниже точки замерзанія плавится а слѣд. при температурѣ комнаты всегда находится въ жидкомъ состояніи, между тѣмъ, какъ платина расплавляется только при сильнѣйшихъ градусахъ тепла и то въ небольшомъ количествѣ. Нѣкоторые изъ металловъ прежде нежели они расплавятся, дѣлаются такъ мягки, что ихъ можно посредствомъ сильнаго давленія или ударовъ молотка соединить въ одну массу, напр. платина и желѣзо; это дѣйствіе называется кованіемъ или навариваніемъ.

Непрозрачность есть свойство, принадлежащее всѣмъ металламъ; впрочемъ золото, одинъ изъ плотнѣйшихъ металловъ, дѣлается просвѣчивающимъ, если значительно уменьшаютъ толщину его, какъ это видно въ листовомъ золотѣ. Если наклеить листовое золото на стеклянную пластинку и держать его противъ свѣта, то сквозь него пройдетъ зеленый цвѣтъ; измѣненіе бѣлаго цвѣта въ зеленой и доказываетъ что свѣтъ проходитъ не черезъ разрывы или дыры въ золотѣ. Къ плотнѣйшимъ маталламъ принадлежатъ иридій (въ 23 раза плотнѣе воды), платина, свинецъ, серебро, къ легчайшимъ калій, который легче воды, натрій и проч. Эти легчайшіе металлы никогда не находятся въ природѣ одни, но въ соединеніи съ кислородомъ и тогда они составляютъ такъ называемые щелочи напр. кали (или поташъ), сода и проч.

Всѣ металлы соединяются съ кислородомъ и составляютъ окислы (ржавчина есть ничто иное, какъ окиселъ); большая часть металловъ доставляютъ нѣсколько окисловъ, въ которыхъ количество кислорода, какъ мы и прежде замѣтили, находится въ опредѣленныхъ и простыхъ отношеніяхъ. Иные изъ металловъ окисляются и при обыкновенной температурѣ, напр. калій, другіе при высокой напр. цинкъ, желѣзо; а иные только въ сильнѣйшемъ жару напр. золото. Если окисленіе при высокой температурѣ происходитъ мгновенно, то при этомъ освобождаются свѣтъ и теплота и металлы сгараютъ, напр. стальная пружина въ кислородѣ. Впрочемъ горѣніемъ называютъ также и медленное окисленіе (ржавчину) напр. окисленіе желѣза въ водѣ. Кислоты, напр. азотная кислота, скоро окисляютъ большую часть упомянутыхъ здѣсь металловъ и потомъ растворяютъ ихъ, кромѣ золота и платины; эти два металла растворяются только въ смѣси изъ азотной и хлористоводородной кислоты или въ такъ называемой Царской водкѣ. Металлы также легко соединяются и съ сѣрою, какъ съ кислородомъ и составляютъ сѣрнистые металлы. Одно изъ замѣчательнѣйшихъ таковыхъ соединеній есть колчеданъ, который по своему цвѣту и блеску похожъ на золото и потому не свѣдущими людьми часто принимается за золото. Металлы соединяются также и съ другими простыми не металлическими тѣлами, напр. съ хлоромъ, іодомъ и проч., но эти соединенія для цѣли нашего руководства не важны.

Металлы соединяются между собою; эти соединенія, образующіяся не въ такихъ опредѣленныхъ пропорціяхъ, какія нужны собственно для химическихъ соединеній, называются *сплавами*. При этомъ металлы часто измѣняются въ своихъ свойствахъ замѣчательнымъ образомъ, напр. желтая мѣдь или латунь есть сплавъ состоящій изъ мѣди и цинка, также артиллерійскій металлъ и бронза. Если въ соединеніе металловъ входитъ ртуть, то смѣсь называется *амальгамою*.

Въ природѣ рѣдко встрѣчаются металлы самородные, но они соединены съ кислородомъ, съ сѣрою, съ углекислотою, съ мышьякомъ; тогда они называются рудами. Такъ они лежатъ въ горнокаменныхъ породахъ въ видѣ гнѣздъ, или жилъ, далеко простирающихся, часто также въ пластахъ, часто въ рѣкахъ или въ прежде бывшихъ бассейнахъ рѣкъ въ смѣшеніи съ пескомъ; такъ напр. на Уралѣ золото и платина добываются изъ песковъ посредствомъ промыванія. Металлы въ чистомъ видѣ добываются изъ рудъ различными химическими процессами, большею частію помощію сильнаго жара.

Металическіе окислы т. е. соединенія металловъ съ кислородомъ, соединяются съ кислотами, которыя суть тоже соединенія простыхъ тѣлъ съ кислородомъ; въ такомъ соединеніи окиселъ, въ отношеніи къ кислотѣ, называется основаніемъ соединенія а самое соединеніе *солью*. Такъ напр. сѣрная кислота соединяется съ окисломъ металла— кальція т. е. съ известью и составляетъ соль называемую сѣрнокислою известью, но которая въ общежитіи извѣстна подъ именемъ гипса.

Названіе солей принадлежитъ также двойнымъ соединеніямъ, состоящимъ изъ хлора и одного металла, какъ мы уже приводили въ примѣръ поваренную соль, которая есть соединеніе хлора съ металломъ натріемъ и въ ученыхъ книгахъ по этому называется хлористымъ натріемъ.

§ 22.

При соединеніи кислотъ съ основаніями или окислами

оказывается столь отличительное свойство собственно химическихъ соединенiй, что не излишне будетъ разсмотрѣть подробнѣе этотъ процессъ. Кислоты имѣютъ то отличительное свойство, что онѣ окрашиваютъ синiя органическiя вещества въ красный цвѣтъ; по этому если окрасимъ бумагу такимъ синимъ цвѣтомъ, для чего обыкновенно употребляютъ цвѣтъ лакмусоваго раствора, и вырѣжемъ изъ этой бумаги узкiя полоски, то посредствомъ ихъ удобно можно узнать, находится ли не соединенная кислота въ какой нибудь жидкости; ибо въ случаѣ присутствiя кислоты погружаемая бумажка дѣлается красною.

Многiе металлическiе окислы, а именно растворяющiеся въ водѣ такъ называемыя щелочи, которые имѣютъ весьма большое сродство съ кислотами, окрашиваютъ желтый цвѣтъ растительныхъ произведенiй, именно желтый цвѣтъ имбиря, въ бурый, такъ что через погруженiе бумажки, окрашенной растворомъ имбиря, мы можемъ открыть присутствiе свободной щелочи въ жидкости, подобно какъ через погруженiе лакмусовой бумажки въ жидкость узнаемъ присутствiе кислоты. Если возмемъ стеклянный сосудъ съ водою и вольемъ въ него немного кислоты напр. сѣрной, то погруженная лакмусомъ окрашенная бумажка тотчасъ покажетъ присутствiе ея въ жидкости, но окрашенная растворомъ имбиря не перемѣнится. Если будемъ по каплѣ прибавлять щелочи напр. кали, то замѣтимъ, что цвѣтъ лакмусовой бумажки менѣе и менѣе измѣняется, а окрашенная имбиремъ остается желтою, пока наконецъ дойдемъ до такого количества прибавляемой щелочи, при которомъ ни лакмусовая, ни имбирная бумажки не измѣняются; если послѣ этаго прибавимъ еще одну каплю щелочи, то хоть лакмусовая бумажка остается не измѣняемою, однако смѣсь дѣйствуетъ на имбирную и показываетъ

присутствiе свободной щелочи. Изъ этихъ опытовъ мы должны заключить слѣдующее: если будемъ по каплѣ вливать щелочь въ кислоту, то свойство этой послѣдней болѣе и болѣе будетъ ослабляемо, пока наконецъ при извѣстномъ отношенiи количествъ той и другой жидкости, смѣсь не будетъ имѣть свойствъ ни кислоты ни щелочи и происходитъ новое тѣло совершенно отличное, отъ составляющихъ его — *средняя соль*. По этому въ средней соли нельзя замѣтить ни щелочи ни кислоты; онѣ могутъ быть опять раздѣлены, но только посредствомъ третьяго тѣла, которое имѣетъ къ одному изъ нихъ большее химическое сродство, нежели какое онѣ имѣютъ между собою; такъ напр. въ мѣлу, какъ мы уже видѣли, углекислота соединена съ извѣстью; если нальемъ на мѣлъ нѣсколько капель сѣрной кислоты, то она, имѣя сродство съ извѣстью большее, нежели углекислота, соединится съ нею, составится гипсъ, а углекислота освободится въ видѣ газа. Такимъ образомъ мѣлъ разложится.

Всѣ химическiя разложенiя происходятъ подобнымъ образомъ; всегда одно тѣло отдѣляетъ изъ соединенiя другое потому, что оно само соединяется съ одною изъ составныхъ частей соединенiя.

ВТОРОЕ ОТДѢЛЕНІЕ.

О ТВЕРДЫХЪ ТѢЛАХЪ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

СЛОЖЕНІЕ И РАЗЛОЖЕНІЕ СИЛЪ.

§ 23.

Мы видѣли уже, что твердыя тѣла отличаются отъ капельныхъ и воздухообразныхъ тѣмъ, что ихъ частицы крѣпко соединены между собою, такъ что для отдѣленія ихъ другъ отъ друга, потребна значительная сила. По этому нельзя привести въ движеніе нѣкоторыя изъ нихъ безъ того, чтобъ не сообщить этого движенія и другимъ. Впрочемъ, для сообщенія движенія отъ нѣкоторыхъ частицъ всей массѣ, требуется хотя незначительное время и потому если движеніе, сообщенное непосредственно ударяемымъ частицамъ такъ быстро, что оно выводитъ ихъ изъ границъ притяженія ближайшихъ частицъ прежде, нежели можетъ сообщиться движеніе этимъ близъ лежащимъ частицамъ, то подвергнутыя удару отрываются, между тѣмъ какъ прочія остаются на своихъ мѣстахъ.

Этимъ объясняются многія явленія, которыя съ перва-

го взгляда кажутся странными. Пуля пущенная изъ ружья дѣлаетъ круглое отверстіе въ тонкой доскѣ, не сдвигая съ мѣста всей доски, хотя она ни къ чему не прикрѣплена. Если положимъ на отверстіе стакана игральную карту и на нее какую нибудь монету, то мы можемъ быстрымъ ударомъ сбить въ сторону карту, а монета не будетъ участвовать въ семъ движеніи и упадетъ въ стаканъ и т. д.

Не принимая въ разсужденіе этого мгновеннаго дѣйствія, представимъ себѣ какую нибудь внѣшнюю силу, дѣйствующую на твердое тѣло, но такъ, что послѣдовавшее отъ ея дѣйствія движеніе можетъ сообщиться прочимъ частицамъ; въ такомъ случаѣ тѣло, если оно можетъ двигаться свободно, пойдетъ въ направленіи силы и притомъ, по законамъ недѣятельности, съ равномѣрною скоростію. И такъ если предположимъ, что тѣло отъ дѣйствія силы проходитъ въ единицу времени, напр. въ одну секунду, извѣстное число футовъ, которое мы означимъ чрезъ v, и которое называется *скоростію*, то пространство e пройденное во время t, также выраженное въ секундахъ, изобразится формулою:

$$e = vt.$$

Если напримѣръ скорость тѣла въ одну секунду будетъ 3 фута и мы хотимъ знать пространство, пройденное въ $8\frac{1}{2}$ секундъ, то получимъ:

$$e = 3.\ 8\tfrac{1}{2} = 25\tfrac{1}{2} \text{ футамъ}.$$

Если на одну и туже точку c тѣла (фиг. 3) дѣйствуютъ двѣ силы, обѣ въ одномъ направленіи AC, изъ которыхъ одну будемъ называть P, а другую Q, то онѣ будутъ усиливать одна другую и мы очевидно получимъ тотъ же результатъ, какой происходитъ отъ одной силы R, дѣйствующей въ томъ же направленіи и равной суммѣ силъ P и Q. Эта третья сила, которая можетъ замѣнить двѣ и

произвести тоже дѣйствіе, называется *равнодѣйствующею*. Слѣд. въ такомъ случаѣ она есть:

$$R = P + Q.$$

Напр. если P означаетъ силу, отъ которой, если бы она дѣйствовала одна, тѣло получитъ скоростъ 5 футовъ, и Q другую, которая сама по себѣ сообщаетъ скорость 3 фута и если обѣ дѣйствуютъ въ одну и туже сторону, то мы можемъ вмѣсто этихъ двухъ силъ употребить третью, которая сообщитъ ему скорость 8 фут. въ секунду. Итакъ тѣло будетъ проходить 8 фут. въ секунду.

Если P дѣйствуетъ на точку C въ направленіи AC (фиг. 6) и Q въ направленіи CB, совершенно противномъ, то равнодѣйствующая очевидно будетъ равна разности обѣихъ силъ; слѣд:

$$R = P - Q.$$

Если P и Q выражаются посредствомъ 5 и 3, то мы получимъ:

$$R = 5 - 3 = 2.$$

т. е. тѣло двигалось бы со скоростію 2 фут. въ направленіи большей силы P.

Если P и Q равны, то R = *o*, т. е. тѣло не двигается, хотя дѣйствуютъ на него двѣ силы. Тогда говорятъ, что тѣло находится *въ равновѣсіи*.

Теперь положимъ, что силы P и Q, дѣйствующія на точку C, составляютъ между собою уголъ ACB (фиг. 7) и что сила P, еслибы она одна дѣйствовала, заставила бы тѣло въ извѣстное время достигнуть отъ C до точки A, а сила Q, еслибъ она одна дѣйствовала, до точки B; тогда очевидно, что при одновременномъ дѣйствіи обѣихъ силъ путь движущагося тѣла будетъ лежать между CA и CB и притомъ ближе къ большей силѣ Q, нежели къ слабѣйшей P. Механика и опыты показываютъ, что путь тѣла въ этомъ

случаѣ есть діагональ параллелограмма CADB т. е. линія CD. И такъ если силы P и Q представимъ въ видѣ линій AC и CB, то равнодѣйствующая ихъ будетъ выражаться діагональю CD паралелограмма CADB. Этотъ весьма важный въ механикѣ законъ извѣстенъ подъ именемъ *параллелограмма силъ*. Посредствомъ его можно вмѣсто многихъ силъ, дѣйствующихъ на одну точку, найти одну такую, которая произведетъ совершенно одинаковое дѣйствіе, и наоборотъ, одну силу, движущую тѣло въ извѣстномъ направленіи, можно замѣнить двумя, тремя и болѣе силами, которыя на точку окажутъ тоже дѣйствіе. Лучше всего это можно видѣть изъ примѣровъ.

Положимъ, что два человѣка тянутъ тяжесть Q за одну точку A, въ направленіи AB и AC (фиг. 9); одинъ, находящійся въ B, самъ по себѣ можетъ тянуть со скоростію 3 футовъ, другой въ точкѣ A, со скоростію 4 футовъ; спрашивается въ какомъ направленіи и съ какою скоростію будетъ двигаться тяжесть Q отъ дѣйствія обѣихъ силъ вмѣстѣ? Для рѣшенія этой задачи отложимъ по направленіямъ AB и AC двѣ линіи относящіяся какъ 3 : 4 и построимъ параллелограммъ ABCD; линія AD будетъ показывать направленіе и величину искомой силы; итакъ по нашей фигурѣ тяжесть будетъ двигаться въ направленіи AD со скоростію $6\frac{1}{2}$ футовъ въ секунду.

Рѣшимъ еще слѣдующую задачу: гребецъ хочетъ переправить свою лодку черезъ рѣку отъ A къ B (фиг. 8); положимъ, что въ стоячей водѣ онъ можетъ гнать свою лодку со скоростію 5 футовъ въ одну секунду и что отъ дѣйствія теченія рѣки лодка проходила бы въ одну секунду 2 фута въ направленіи показанномъ стрѣлкою; еслибы гребецъ гналъ свою лодку прямо въ направленіи отъ A къ B, то вода снесла бы его и онъ причалилъ бы ниже B;

слѣд. онъ долженъ направить лодку выше; тогда вода можетъ снести его внизъ, такъ что онъ причалитъ прямо къ B; спрашивается какъ много онъ долженъ держать выше для того, чтобъ достигнуть до B? Положимъ, что лодка находится въ точкѣ D; отъ теченія воды она шла бы въ направленіи DF со скоростію 2 футовъ; изобразимъ эту силу линіею DF. Если раздѣлимъ ее въ G на двѣ части, то сила гребца выразится трекратною линіею DG; спрашивается въ какомъ направленіи должна дѣйствовать эта сила 3DG для того, чтобъ отъ дѣйствія ея и силы DF лодка шла по направленію DB. Измѣримъ линію 3DG циркулемъ, одну изъ ножекъ его поставимъ въ F и найдемъ, въ которой точкѣ линіи DB должно поставить другую ножку его; положимъ, что въ точкѣ C; проведемъ, линію FC и составимъ параллелограммъ DFCK; линія DK будетъ искомое направленіе. Въ самомъ дѣлѣ вмѣсто обѣихъ силъ DK и DF можно бы было употребить силу DC, дѣйствующую по діагонали и могущую пригнать лодку къ назначенной точкѣ; линія DC выражаетъ вмѣстѣ и скорость движенія лодки, которая, по нашей фигурѣ, равна почти $2\frac{1}{4}$ футамъ въ секунду.

§ 24.

Посредствомъ вычисленія можно гораздо точнѣе, нежели построеніемъ, разложить силы, если только употребимъ нѣкоторыя весьма простыя предложенія изъ тригонометріи. Пусть напр. $DC = r$ будетъ равнодѣйствующая боковыхъ силъ CA и CB, которыя для краткости мы означимъ относительно буквами p и q (фиг. 9); пусть α и β будутъ углы составляемые этими силами съ направленіемъ равнодѣйствующей; $\alpha + \beta$ или уголъ заключающійся между p и q

пусть будетъ равенъ γ; тогда въ треугольникѣ DAC, въ которомъ $AD = BC = q$, мы поправилу тригонометріи имѣемъ

$$AC : AD : DC = \sin ADC : \sin ACD : \sin DAC.$$

или потому что $\sin\gamma = \sin DAC$

$$\text{(I)} \quad p : q : r = \sin\beta : \sin\alpha : \sin\gamma$$

Кромѣ того извѣстно что $DC^2 = AD^2 + AC^2 - 2AD.AC.\cos DAC$. или, такъ какъ $\cos DAC = -\cos\gamma$

$$\text{(II)} \quad r^2 = p^2 + q^2 + 2pq. \text{Cos}\,\gamma.$$

Эти двѣ формулы даютъ намъ средство рѣшать всѣ подобныя задачи.

Въ нашемъ первомъ примѣрѣ, рѣшенномъ геометрически, уголъ $\gamma = BAC$ данъ; предположимъ, что силы $p = AB$ и $q = AC$ составляютъ между собою уголъ 45^0, какъ это видно и по фигурѣ; p была $= 3$, $q = 4$; слѣд. по формулѣ (II) для величины равнодѣйствующей получимъ:

$$r = \sqrt{9 + 16 + 24. \text{Cos}\,45^0} = 6{,}5$$

направленіе же ея найдемъ изъ пропорціи (I), когда опредѣлимъ уголъ β

$$p : r = \sin\beta : \sin\gamma.$$

или $\quad 3 : 6{,}5 = \sin\beta : \sin 45.$

откуда получимъ $\quad \beta = 19^0\,,,\,3'$

Во второй задачѣ $KDC = DCF = x$, гдѣ посредствомъ x опредѣляется искомое направленіе лодки и мы просто имѣемъ въ треугольникѣ DFC.

$$\text{Sin}\,x = \frac{FD}{FC} = \frac{2}{3}\;;\ \text{слѣд.}\ x = 41^0\,,,\,49'$$

Подъ этимъ угломъ гребецъ долженъ направить лодку, чтобы приплыть къ B; скорость движенія будетъ:

$$FC.\cos x = 3.\cos.41^0\,,,\,49' = 2{,}236 \text{ фут.}$$

§ 25.

Мы видѣли до сихъ поръ, что двѣ силы, дѣйствующія

на одну точку твердаго тѣла, могутъ быть замѣнены одною, которая произведетъ совершенно тоже дѣйствіе. Теперь разсмотримъ нельзя ли намъ и двѣ параллельныя силы, дѣйствующія на двѣ точки тѣла напр. AC и BD (фиг. 10) замѣнить одною, которая произведетъ тоже дѣйствіе. Это мы можемъ легко сдѣлать, основываясь на законѣ параллелограмма силъ, если еще прибавимъ къ нему одно предложеніе, состоящее въ слѣдующемъ:

Точка приложенія силы можетъ быть перемѣщена въ какую нибудь точку направленія ея, причемъ дѣйствіе нисколько неизмѣняется, если только всѣ точки принадлежатъ одному и томуже тѣлу и слѣд. находятся въ неизмѣняемомъ другъ отъ друга разстояніи. Легко можно удостовѣриться въ справедливости этого предложенія. Въ самомъ дѣлѣ все равно, дѣйствуетъ ли сила DB на точку B или на точку B′; если напр. она сообщаетъ толчекъ точкѣ B′, то она подѣйствуетъ одинаково и на точку B, посредствомъ всѣхъ точекъ, лежащихъ между B и B′ и составляющихъ линію BB′. Такъ напр. если мы тянемъ коляску за горизонтальное дышло, то все равно, за какую бы точку дышла мы ни тянули, мы должны употребить туже самую силу. Допустивши это предложеніе мы легко можемъ рѣшить нашу задачу, именно найти равнодѣйствующую двухъ параллельныхъ силъ, точку приложенія ея и направленіе.

Пусть A и B будутъ точки приложенія силъ P и Q, относящихся между собою, какъ AM относится къ BN (фиг. 11). Соединимъ A и B линіею AB и по направленію ея заставимъ дѣйствовать двѣ новыя силы равныя, изъ которыхъ одна CA сообщаетъ толчекъ отъ A къ B, а другая BD отъ B къ A. Такъ какъ эти двѣ силы равны и дѣйствуютъ совершенно противоположно посредствомъ не-

сгибаемой линіи AB, то онѣ уничтожаютъ другъ друга, и несмотря на эти двѣ новыя силы, мы не получимъ никакого новаго разультата относительно движенія обѣихъ точекъ A и B (и слѣд. относительно движенія всего тѣла), кромѣ того, которое происходитъ отъ однихъ силъ P и Q. Силы CA и AM можемъ построеніемъ параллелограмма CAMF сложить въ одну силу, которой направленіе и величина будутъ выражены линіею AF; такимъ образомъ можемъ замѣнить и силы BN и BD одною BG, и такъ какъ 4 силы, изъ которыхъ произошли AF и BG, дѣйствуютъ также, какъ P и Q, то AF и BG, какъ равнодѣйствующія, будутъ дѣйствовать также, какъ P и Q. Если продолжимъ FA и GB до пересѣченія ихъ въ K, то мы можемъ перемѣстить точку приложенія силы FA изъ A въ K и также точку приложенія силы BG въ K, предполагая что K принадлежитъ вмѣстѣ съ A и B одному и томуже твердому тѣлу. Такимъ образомъ мы имѣемъ двѣ силы $F'K = FA$ и $G'K = GB$, которыя дѣйствуютъ также какъ P и Q. Изъ K проведемъ линію KL параллельную направленію силъ P и Q и C′D′ параллельную линіи AB и и разложимъ KF′ на двѣ силы, дѣйствующія по этимъ послѣднимъ линіямъ; мы получимъ KC′ и KP′; подобнымъ же образомъ изъ силы KG′, по разложеніи получимъ двѣ силы KD′ и KQ′. Очевидно, что будетъ $KP' = AM = P$ и $KC' = CA = p$, потому что отъ этихъ силъ произошла сила AF, дѣйствующая въ этомъ направленіи; подобнымъ образомъ будетъ $KQ' = Q$ и $KD' = BD = p$; обѣ силы p совершенно противоположны и слѣдовательно уничтожаютъ другъ друга и остаются силы KP′ и KQ′ (равныя силамъ P и Q), которыя также дѣйствуютъ, какъ первоначальныя P и Q. Но такъ какъ эти двѣ силы дѣйствуютъ на одну и туже точку въ одномъ и томъ же направленіи,

то равнодѣйствующая ихъ есть $R = P + Q$ и дѣйствуетъ въ направленіи KL; слѣд. это есть равнодѣйствующая обѣихъ параллельныхъ силъ P и Q, которую мы хотѣли опредѣлить; она дѣйствуетъ въ направленіи KL на какую нибудь точку этой линіи, слѣд. для ней мы можемъ взять точку L, въ которой направленіе этой силы пересѣкаетъ линію AB. Такимъ образомъ мы имѣемъ вмѣсто двухъ параллельныхъ силъ P и Q одну равнодѣйствующую R, которая равна ихъ суммѣ, параллельна имъ и точку приложенія имѣемъ въ L.

Изъ подобія треугольниковъ KF′P′ и KAL слѣдуетъ:

$$KP' : P'F' = KL : LA$$

или

$$P : p = KL : LA$$

откуда:

$$P \,.\, LA = p \,.\, KL.$$

Также изъ подобія треугольниковъ KQ′G′ и KLB слѣдуетъ:

$$KQ' : Q'G' = KL : LB$$

т. е.

$$Q : p = KL : LB$$

откуда

$$Q \,.\, LB = KL \,.\, p$$

Соединяя полученныя равенства мы будемъ имѣть:

$$P \,.\, LA = Q \,.\, LB$$

или

$$P : Q = LB : LA$$

т. е. если двѣ параллельныя силы P и Q будутъ дѣйствовать на двѣ точки какого нибудь тѣла, то для опредѣленія равнодѣйствующей соединимъ обѣ точки прямою линіею и раздѣлимъ ее въ обратномъ отношеніи силъ, такъ чтобы большая часть была на сторонѣ меньшей силы, тогда точка раздѣленія будетъ точкою приложенія равнодѣйствующей, направленіе ея будетъ параллельно направленію силъ P и Q, а величина равна суммѣ обѣихъ сихъ.

§ 26.

По этому правилу можно рѣшить различныя задачи.

Пусть напр. одна лошадь запряжена будетъ въ телѣгу наполненную грузомъ, пусть AB (фиг. 12) представляетъ переднюю ось телѣги. Извѣстно, что телѣга влечется впередъ посредствомъ двухъ оглоблей AF и BG, къ концамъ которыхъ прикрѣпленъ хомутъ, такъ что лошадь одною половиною силы своей груди, подвигаемой впередъ, силится тянуть впередъ оглоблю AF, а другою половиною другую оглоблю въ направленіи BG, параллельномъ AF. Слѣд. на A и B дѣйствуютъ двѣ равныя и параллельныя силы въ направленіи AF и BG; и такъ чтобы найти равнодѣйствующую, мы должны раздѣлить линію AB на двѣ части, относящіяся мяжду собою, такъ какъ силы т. е. на равныя части. Слѣд. равнодѣйствующая будетъ дѣйствовать въ серединѣ C, телѣга будетъ влекома въ направленіи CD силою равною суммѣ силъ, употребляемыхъ лошадью для влеченія оглоблей, т. е. равна будетъ цѣлой силѣ лошади. И такъ отъ этого расположенія никакая часть силы не теряется и невыигрывается, но оно служитъ только для того, чтобы раздѣлить силу симметрически въ отношеніи къ самой лошади. Очевидно, что это не имѣло бы мѣсто, если бы въ точкѣ C утверждена была одна оглобля и привязана только къ одной сторонѣ груди; съ этой стороны мускулы лошади должны бы были сдѣлать большее напряженіе, нежели съ другой, отъ чего, какъ мы изъ опыта знаемъ, животное устанетъ скорѣе.

Возмемъ другой примѣръ: положимъ, что два носильщика должны нести на плечахъ какую нибудь тяжесть, повѣшенную на шестѣ (фиг. 13). Пусть точка A лежитъ на плечѣ одного носильщика, а точка B на плечѣ другаго. Положимъ, что оба носильщика различнаго отъ природы сложенія, такъ что одинъ A можетъ съ такою же легкостію нести 2 пуда, съ какою другой B 1 пудъ. Спраши-

вается, гдѣ должно повѣсить тяжесть, для того, чтобъ A относительно столько же былъ обремененъ какъ B. Пусть эта точка будетъ C; слѣд. нужно опредѣлить разстояніе $CA = x$. Изъ нашей теоремы мы знаемъ, что если вся длина шеста будетъ $AB = a$ то получимъ

$$AC : CB = 1 : 2$$

т. е.

$$x : a - x = 1 : 2$$

откуда получимъ

$$2x = a - x$$

или

$$x = \tfrac{1}{3} a$$

т. е. тяжесть должна быть подвинута къ сильнѣйшему посильщику, такъ чтобы AC относилось къ BC, какъ сила слабѣйшаго къ силѣ крѣпчайшаго.

Наконецъ мы покажемъ третій примѣръ разложенія параллельныхъ силъ: опредѣлимъ давленіе, которое производится на каждую ножку треножнаго стола тяжестію лежащею на немъ. (фиг. 14). Пусть ABC представляетъ доску стола, къ которой ножки прикрѣплены въ точкахъ A, B, C. Пусть въ точкѣ P лежитъ тяжесть въ 10 пудовъ; спрашивается какую часть этой тяжести должна поддерживать каждая ножка порознь? Проведемъ отъ A черезъ P линію AD; въ такомъ случаѣ тяжесть можно принимать за равнодѣйствующую двухъ силъ, изъ которыхъ одна p дѣйствуетъ на A, а другая q на D; тогда по нашей теоремѣ получимъ:

$$\frac{p}{q} = \frac{2}{1} \text{ и } p + q = 10$$

если будетъ, какъ видно въ нашей фигурѣ,

$$PD : AP = 2 : 1$$

Изъ этихъ двухъ уравненій мы можемъ опредѣлить p и q и найдемъ

$$p = 6\frac{2}{3}; \quad q = 3\frac{1}{3}.$$

Такимъ образомъ мы нашли, что вмѣсто десятипудовой тяжести, дѣйствующей на точку P, съ такою же силою будутъ дѣйствовать двѣ, одна въ $6\frac{2}{3}$ пуда на A, а другая въ $3\frac{1}{3}$ пуда на D. Давленіе на точку D раздѣляется опять на двѣ точки B и C въ отношеніи DC : BD, слѣд. по нашей фигурѣ въ отношеніи 3 : 1, такъ что на B дѣйствуетъ $\frac{3}{4}q$, на C $\frac{1}{4}q$; или поелику $q = 3\frac{1}{3} = \frac{10}{3}$, то мы получимъ слѣдующія давленія:

$$\text{на B} \ldots\ldots\ldots\ldots \frac{3}{4} \cdot \frac{10}{3} = 2\frac{1}{2} \text{ пуда}$$

$$\text{на C} \ldots\ldots\ldots\ldots \frac{1}{4} \cdot \frac{10}{3} = \frac{5}{6} \text{ пуда}$$

$$\text{на A} \ldots\ldots\ldots\ldots 6\frac{2}{3} = \frac{2}{3} \text{ пуда.}$$

Очевидно, что сумма всѣхъ трехъ давленій должна быть равна всей тяжести и въ самомъ дѣлѣ она $= 10$.

Изъ послѣдняго примѣра мы уже знаемъ, какъ разложить одну силу въ 10 пудовъ на три другія, изъ которыхъ одна дѣйствуетъ на A, другая на B, третья на C. Подобнымъ образомъ всегда поступаютъ при разложеніи и при сложеніи болѣе двухъ силъ или параллельныхъ или дѣйствующихъ на одну точку. Для сложенія напр. силъ A, B, C, D сперва находятъ равнодѣйствующую R_1 двухъ силъ A и B; потомъ равнодѣйствующую R_2 найденной равнодѣйствующей R_1 и какой нибудь изъ остальныхъ напр. C; потомъ равнодѣйствующую R_3 силы R_2 и послѣдней силы D. Опредѣленная такимъ образомъ послѣдняя изъ равнодѣйствующихъ R_3 будетъ равнодѣйствующею всѣхъ силъ A, B, C, D.

§ 27.

До сихъ поръ мы полагали, что обѣ параллельныя силы, которыхъ равнодѣйствующую мы нашли, дѣйствуютъ

съ одной стороны. Но какая будетъ равнодѣйствующая, когда одна параллельная сила P дѣйствуетъ по направленію AP, а другая Q въ противномъ направленіи BQ? Къ рѣшенію этаго вопроса мы можемъ достигнуть слѣдующимъ простымъ способомъ: основываясь на предыдущемъ мы можемъ разложить большую силу Q на двѣ P′ и R параллельныя ей и дѣйствующія въ направленіи AP′ и DR (фиг. 15); изъ нихъ $P' = P$, если возмемъ $R = Q - P$ и точку приложенія на линіи AB въ такомъ разстояніи, чтобъ существовало отношеніе $P' : R = BD : AB$.

Такимъ образомъ получимъ вмѣсто двухъ прежнихъ силъ три новыя P, P′ и R, которыя производятъ совершенно тоже дѣйствіе: изъ нихъ силы P и P′, какъ равныя и противоположныя одна другой, взаимно уничтожаются, и слѣд. остается только одна R, дѣйствующая также, какъ двѣ прежнія противоположныя P и Q, такъ что R выражаетъ направленіе и величину равнодѣйствующей. По предыдущему мы имѣемъ

$$P : R = BD : AB$$

Слѣд. $P + R : P = BD + AB : BD$

т. е. $Q : P = AD : BD$.

Слѣд. и здѣсь мы имѣемъ прежнее правило: точка приложенія равнодѣйствующей силы должна быть взята такъ, чтобъ разстоянія ея отъ точекъ приложенія первопачальныхъ силъ находились въ обратномъ отношеніи этихъ силъ; только нужно въ семъ случаѣ брать точку приложенія не между силами P и Q, но внѣ на сторонѣ большей силы. Величина равнодѣйствующей равна разности обѣихъ силъ P и Q, а направленіе ея параллельно направленію прежнихъ силъ.

Изъ этого непосредственно слѣдуетъ, что двѣ равныя и параллельныя, но противоположныя силы не могутъ

быть замѣнены одною равнодѣйствующею, потому что тогда эта послѣдняя должна быть равна $p - p = o$.

При сложеніи параллельныхъ силъ, дѣйствуютъ ли онѣ въ одномъ направленіи, или въ противоположномъ, мы находили точку приложенія равнодѣйствующей и величину ея совершенно независимо отъ направленія силъ. Напр. мы опредѣлили величину равнодѣйствующей (фиг. 16) R двухъ силъ P и Q и точку ея приложенія только изъ одного отношенія этихъ силъ, и очевидно, что мы нашли бы туже точку приложенія и туже величину $CR' = CR$ если бы разсматривали вмѣсто силы P равную ей P′, а вмѣсто силы Q равную ей Q′; перемѣнилось бы только направленіе равнодѣйствующей вмѣстѣ съ измѣненіемъ направленія слагающихъ. Итакъ если слагающія силы всѣ вмѣстѣ будутъ обращаться въ одномъ направленіи около своихъ точекъ приложенія, такъ чтобъ онѣ оставались всегда параллельны между собою, то и равнодѣйствующая будетъ съ ними обращаться въ туже сторону, удерживая туже величину и туже точку приложенія. Слѣд. точка приложенія равнодѣйствующей однѣхъ и тѣхъ же слагающихъ, дѣйствующихъ параллельно, есть совершенно опредѣленная точка, которую называютъ *центромъ силъ*.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О ЦЕНТРѢ ТЯЖЕСТИ.

§ 28.

Законы, выведенные нами для разложенія и сложенія параллельныхъ силъ, имѣютъ столь существенное примѣненіе къ дѣйствію силы тяжести на тѣла, что мы хотимъ вслѣдъ за этимъ подробно разсмотрѣть это дѣйствіе. Мы

прежде уже видѣли, что тяжесть есть общее, хотя не необходимое свойство тѣлъ, не принадлежащее только нѣкоторымъ дѣйствователямъ природы, называемымъ по этому не вѣсомыми; кромѣ ихъ всѣ тѣла тяжелы т. е. онѣ притягиваются землею и притомъ такъ, что каждый атомъ тѣла притягивается каждымъ атомомъ земли; притяженіе двухъ какихъ угодно атомовъ, какого бы химическаго состава они ни были, на равномъ разстояніи равно, и уменьшается въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстояній. Пусть ABDF (фиг. 17) представляетъ земной шаръ, C центръ его, M какую нибудь матеріальную точку; возмемъ частицу земнаго шара m, которая притягиваетъ къ себѣ частицу M въ направленіи mM. Легко можно видѣть, что по другую сторону центра земли должна находиться другая точка m', которая находится отъ M въ томъ же разстояніи и для которой уголъ $CMm' = CMm$, и также видно, что тогда равнодѣйствующая обѣихъ притягательныхъ силъ m и m' должна совпадать съ линіею MC. Тоже можно сказать о какой угодно другой точкѣ n; также и для ея находится частица n', такъ что равнодѣйствующая притяженія этихъ двухъ частицъ идетъ по направленію MC. Относя это разсужденіе ко всѣмъ частицамъ находящимся въ полушаріи BAF, для которыхъ,—если предположить, что земля есть однородное тѣло,—всегда можно найти соотвѣтствующія частицы въ полушаріи BDF, мы выводимъ заключеніе, что притяженія всѣхъ частицъ земнаго шара должны имѣть равнодѣйствующую, которой направленіе проходитъ чрезъ центръ земли; итакъ всякая матеріальная точка M, находящаяся внѣ земнаго шара притягивается землею въ направленіи къ ея центру; слѣд. если она не имѣетъ опоры, то она будетъ приближаться къ землѣ въ этомъ направленіи, т. е. она будетъ падать. Направленіе къ центру земли называется *отвѣснымъ направленіемъ*. Считая по этому направленію часть тѣла ближайшая къ землѣ называется нижнею, часть отдаленная отъ земли верхнею. Итакъ если человѣкъ на 4 мѣстахъ земной поверхности находится въ отвѣсномъ положеніи AB, A'B', A''B'', A'''B''' (фиг. 18), то точки A, A', A'', A''', будутъ нижними точками—его ноги, B, B', B'', B''', верхними точками—его голова, и вездѣ тѣло падало бы въ направленіи отъ B къ A; по этому вопросъ, почему наши антиподы не упадутъ съ земли,—не имѣетъ никакого основанія.

Изъ положенія отвѣсныхъ направленій видно, что въ двухъ какихъ нибудь точкахъ поверхности земли направленія тяжести не могутъ быть параллельны, но если точки A и D (фиг. 19), въ которыхъ находятся двѣ матеріальныя частицы, лежатъ не въ далекомъ другъ отъ друга разстояніи, напр. на нѣсколько футовъ, то легко можно видѣть, что уголъ ACD составленный двумя отвѣсными направленіями AC и DC такъ малъ, что AC и DC можно считать за параллельныя линіи. Въ самомъ дѣлѣ предположимъ что горизонтальное разстояніе этихъ точекъ есть 100 футовъ и что онѣ находятся на самой поверхности земли. Радіусъ земли r можно приблизительно принять равнымъ 20000000 футамъ. Означимъ уголъ ACD чрезъ x; окружность земли $= 2\pi r$, слѣд. на большемъ кругѣ земной поверхности величина одной секунды будетъ $\frac{2\pi r}{360.60.60} = \frac{\pi r}{648000}$. Отсюда находимъ пропорцію

$$1'' : x = \frac{\pi r}{648000} : 100$$

Слѣд. $$x = \frac{64800000}{\pi r} = \frac{64800000}{62800000} \text{ т. е. почти} = 1$$

Итакъ для двухъ точекъ, отстоящихъ на 100 футовъ одна отъ другой, уголъ ACD былъ бы равенъ почти 1''. Но

эта величина угла такъ мала, что она можетъ быть наблюдаема только посредствомъ самыхъ лучшихъ и большихъ астрономическихъ инструментовъ и то только посрествомъ нониуса. Такъ какъ кромѣ того тѣла на земной поверхности обыкновенно бываютъ въ меньшемъ размѣрѣ, нежели въ 100 футахъ, то не подлежитъ ни какому сомнѣнію, что вообще съ полнымъ правомъ можно допустить, что *на всѣ частицы одного и тогоже тѣла тяжесть дѣйствуетъ въ параллельномъ направленіи.*

§ 29.

Итакъ въ тѣлѣ MN (фиг. 20) тяжесть дѣйствуетъ на какія угодно точки m, n, o, въ параллельныхъ и отвѣсныхъ направленіяхъ mp, nq, or и проч. Но мы видѣли, что для всякаго числа параллельныхъ и дѣйствующихъ въ одну сторону силъ, можно найти равнодѣйствующую, которой направленіе параллельно направленію слагающихъ и величина которой равна суммѣ ихъ, слѣд. и здѣсь мы можемъ найти равнодѣйствующую, которой точка приложенія пусть лежитъ въ M, и которая будетъ равна суммѣ слагающихъ. Но сумма всѣхъ слагающихъ вмѣстѣ т. е. дѣйствія тяжести на всѣ частицы тѣла, составляютъ то, что мы называемъ *вѣсомъ* тѣла; итакъ равнодѣйствующая по величинѣ своей равна вѣсу тѣла. Если теперь въ точкѣ приложенія равнодѣйствующей употребимъ какую нибудь силу равную вѣсу тѣла, и противоложно тяжести дѣйствующую снизу вверхъ, то она произведетъ равновѣсіе и тѣло не будетъ двигаться даже и тогда, когда другія точки не будутъ подперты. Это имѣло бы мѣсто и тогда, когда бы тѣло обращено было около точки M, потому что тогда всѣ направленія силъ измѣнились бы одинаково;

слѣд. по предыдущему точка приложенія и величина равнодѣйствующей остались бы тѣже. Эта точка приложенія равнодѣйствующей называется *центромъ тяжести* тѣла. Слѣд. отличительное его свойство состоитъ въ томъ, что если какая нибудь сила препятствуетъ ему падать, то и все тѣло остается въ покоѣ и притомъ во всякомъ положеніи. Итакъ если P будетъ центръ тяжести тѣла ABCD (Фиг. 21) и если удержать паденіе его какою нибудь силою PM, то тѣло останется въ покоѣ. Если обратимъ тѣло около точки P, такъ чтобы оно приняло положеніе A′B′C′D′, то и въ этомъ положеніи оно останется въ покоѣ; подобнымъ образомъ и во всякомъ другомъ положеніи.

§ 30.

Для опредѣленія равновѣсія тѣлъ весьма важная задача состоитъ въ нахожденіи центра тяжести. Этой цѣли достигаютъ или геометрическимъ способомъ или практическимъ. Если тѣло однородно т. е. если оно занимаемое имъ пространство наполняетъ однообразно такъ, что въ одномъ и томъ же объемѣ заключается одно и тоже число атомовъ, или если плотность его измѣняется по извѣстнымъ и опредѣленнымъ законамъ и если фигура его будетъ правильная т. е шаръ, эллипсоидъ, параллепипедъ и пр.: то можно употребить первый точнѣйшій способъ. Если же видъ тѣла неправильный и плотность въ различныхъ частяхъ его будетъ различна, или даже вовсе неизвѣстна, то нужно прибѣгнуть къ практическому способу.

Такъ напр. легко можно доказать геометрическимъ образомъ, что центръ тяжести однороднаго шара долженъ находиться въ центрѣ его, потому что для частицы a (фиг. 22), которая находится по одну сторону центра C

и которую сила az тянетъ внизъ, можно всегда по другую сторону центра C найти другую частицу b, на которую дѣйствуетъ равная сила bz, и которая съ частицею a симметрически расположена относительно центра C, такъ что равнодѣйствующая обѣихъ силъ проходитъ черезъ центръ; такъ какъ всѣ частицы, соединенныя такимъ образомъ по парно, даютъ равнодѣйствующую, проходящую черезъ центръ, то и равнодѣйствующая всѣхъ силъ также будетъ имѣть точку приложенія въ центрѣ шара, и слѣд. центръ тяжести шара совпадаетъ съ геометрическимъ центромъ его. Подобнымъ же образомъ можно доказать, что центръ тяжести C цилиндра лежитъ на срединѣ его оси ab (фиг. 23), центръ тяжести прямаго параллепипеда также на срединѣ его оси, центръ тяжести эллипсоида въ центрѣ его и т. д.

Въ нѣкоторыхъ тѣлахъ центръ тяжести лежитъ внѣ массы ихъ напр. въ пустомъ шарѣ, въ кольцѣ, въ пустомъ цилиндрѣ и т. д. Для другихъ правильныхъ тѣлъ центръ тяжести находятъ посредствомъ интегральнаго исчисленія; оно показываетъ, что центръ тяжести равностороннаго треугольника лежитъ на $\frac{1}{3}$ высоты считая отъ основанія его; центръ тяжести прямаго конуса лежитъ на $\frac{3}{4}$ оси, считая отъ вершины его и пр.

Если тѣло состоитъ изъ частей различной плотности, и если мы знаемъ центръ тяжести каждой части отдѣльно, то мы можемъ легко найти центръ тяжести всего тѣла. Пусть напр. (фиг. 24) тѣло ABFD состоитъ изъ двухъ частей ABD и BFD; первая часть пусть будетъ изъ дерева а другая изъ свинцу, такъ что вѣсъ части ABD = 1 фунту, вѣсъ свинцовой части = 15 ф. Положимъ, что какимъ нибудь способомъ найдено, что деревянная часть имѣетъ центръ тяжести въ C, а свинцовая въ E. Очевидно, что центромъ тяжести всего тѣла будетъ точка приложенія равнодѣйствующей двухъ силъ, изъ которыхъ одна = 1 отвѣсно дѣйствуетъ на C, другая = 15 на E. Но изъ предыдущаго извѣстно, что эту точку мы можемъ найти раздѣливъ линію CE на 16 частей и взявши на ней линіи такъ, чтобъ было $SC : SE = 15 : 1$; слѣд. S будетъ общій центръ тяжести всего тѣла. По этому, если извѣстно положеніе центра тяжести двухъ частей тѣла, то мы найдемъ общій центръ тяжести обѣихъ частей, если соединимъ данные центры прямою линіею и потомъ на ней возмемъ искомую точку, которая бы во столько разъ была ближе къ центру тяжести одной части, во сколько разъ эта часть тяжелѣе другой. Если мы имѣемъ болѣе двухъ разнородныхъ частей въ одномъ тѣлѣ и знаемъ положеніе центра тяжести каждой части порознь, то мы прежде находимъ центръ тяжести общій двумъ частямъ, потомъ ищемъ центръ тяжести принадлежащій найденному центру и центру третьей части и т. д. Черезъ эти соединенія послѣдній найденный центръ тяжести будетъ искомый центръ всего тѣла.

§ 31.

Мы выше видѣли, что познаніе центра тяжести важно въ томъ отношеніи, что только эту точку нужно подперѣть для того, чтобы дать опору самому тѣлу во всякомъ положеніи его. Однако въ большей части случаевъ невозможно дать опору самому центру тяжести, потому что онъ находится въ самой массѣ тѣла. Но легко можно видѣть, что центръ тяжести также будетъ имѣть опору, если подперѣть какую нибудь точку тѣла, находящуюся внизу или вверху центра тяжести на одной отвѣсной линіи. Пусть напр. требуется подперѣть конусъ DBE (фиг. 25 A.) такъ чтобы онъ не упалъ; пусть центръ тяжести его будетъ въ C.

Если, повѣсивъ конусъ на нити, будемъ держать его въ такомъ положеніи, чтобъ С находился отвѣсно подъ В, то мы знаемъ изъ предыдущаго, что точка приложенія силы, которая держитъ нить АВ, можетъ быть перемѣщена въ какую угодно точку тѣла, находящуюся на продолженіи направленія АВ, отъ чего дѣйствіе силы не измѣнится: но это дѣйствіе въ центрѣ тяжести С состоитъ въ томъ, что отъ него конусъ остается въ покоѣ, слѣд. онъ и тогда будетъ находиться въ покоѣ, когда точка В будетъ держаться нитью; совершенно тоже мы можемъ сказать и въ томъ случаѣ, когда конусъ наоборотъ будетъ поставленъ на своей вершинѣ (фиг. 25 В); если точка В имѣетъ точку опоры отвѣсно подъ точкою С, то и С будетъ подпертъ, а съ нимъ вмѣстѣ и весь конусъ.

Но всякой изъ опыта знаетъ, что между двумя помянутыми способами подпоры находится существенное различіе. Въ первомъ случаѣ конусъ самъ собою приходитъ въ положеніе равновѣсія, когда его выводятъ изъ этого положенія; напротивъ въ послѣднемъ случаѣ, когда конусъ стоитъ на своей вершинѣ, онъ опрокидывается, какъ скоро хотя не много будетъ выведенъ изъ этого положенія. Такъ какъ совершенно не возможно найти въ практикѣ точнымъ образомъ положеніе равновѣсія и притомъ, еслибы и удалось это, малѣйшее потрясеніе, малѣйшее движеніе воздуха опять вывело бы его изъ него, то легко видѣть можно, что конусу совершенно нельзя стоять во второмъ случаѣ равновѣсія больше одного мгновенія. Первое равновѣсіе называется *устойчивымъ*, второе *неустойчивымъ*; въ практикѣ употребительно только первое. Теоретически легко можно видѣть причину, по которой получается устойчивое равновѣсіе, когда точка опоры центра тяжести находится выше этого центра, а неустойчивое тогда, когда

точка опоры его лежитъ ниже. Въ самомъ дѣлѣ пусть С будетъ центръ тяжести какого нибудь тѣла и пусть это тѣло будетъ повѣшено на нити АС; потомъ выведемъ С изъ положенія равновѣсія въ D и оставимъ его самому себѣ; тяжесть будетъ дѣйствовать на него въ направленіи DG (фиг. 26 А); если линія DG представляетъ величину силы тяжести, то мы можемъ разложить ее на двѣ силы перпендикулярныя одна къ другой DF и DK; одна изъ нихъ DF дѣйствуетъ въ направленіи нити AD, слѣд. только тянетъ его; напротивъ другая DK производитъ движеніе центра тяжести; слѣд. онъ опять приближается къ первоначальному положенію и послѣ нѣсколькихъ колебаній въ ту и другую сторону, какъ мы увидимъ это послѣ, приходитъ наконецъ въ первоначальное положеніе и остается въ покоѣ.

Если же центръ тяжести С подпирается снизу въ А (фиг. 26 В) посредствомъ несгибающейся линіи АС, и если мы выведемъ его изъ этого положенія въ D, то на него будетъ дѣйствовать сила DG, которую мы разложимъ на двѣ перпендикулярныя одна къ другой; DF уничтожается сопротивленіемъ неизгибающейся линіи, но DK болѣе и болѣе выводитъ центръ тяжести изъ положенія равновѣсія, такъ что онъ самъ собою не можетъ опять притти въ это положеніе; въ этомъ и состоитъ неустойчивое равновѣсіе.

§ 32.

Впрочемъ есть возможность подперѣть центръ тяжести снизу и между тѣмъ получить, покрайнѣй мѣрѣ до извѣстнаго предѣла, устойчивое равновѣсіе; это бываетъ въ томъ случаѣ, когда подпирается не только точка, лежащая прямо надъ центромъ тяжести, но и поверхность окружающая эту точку. Пусть напр. тѣло АНВ (фиг. 27) ле-

житъ на плоскомъ основаніи AB; пусть центръ тяжести находится въ C. Тѣло останется въ покоѣ, потому что оно подперто въ M ниже C. Если выведено будетъ изъ этого положенія, между тѣмъ какъ все тѣло будетъ обращаться около точки B, то подобное разложеніе силы Dg на DF и DK покажетъ, что сила DK, отъ которой только зависитъ движеніе, опять заставитъ точку D притти въ свое первоначальное положеніе C. Слѣдовательно равновѣсіе будетъ устойчивое до тѣхъ поръ, пока C не будетъ выведено изъ своего положенія далѣе положенія N; за этимъ предѣломъ мы очевидно имѣемъ случай паденія тѣла въ противоположную сторону. Итакъ мы видимъ, что здѣсь имѣетъ мѣсто устойчивое равновѣсіе, хотя центръ тяжести подпирается снизу, потому что точка B, около которой обращается тѣло, при перемѣщеніи центра тяжести не совпадаетъ съ точкою M, лежащею прямо подъ точкою опоры.

Уголъ, который составляетъ предѣлъ устойчиваго равновѣсія, т. е, тотъ уголъ, на который центръ тяжести можетъ быть выведенъ изъ своего положенія, не допуская тѣла къ паденію, въ нашемъ случаѣ былъ CBN. Этотъ уголъ будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ ниже лежитъ C и чѣмъ длиннѣе AB. Слѣд. можно видѣть, что тѣло тѣмъ тверже стоитъ на какой нибудь поверхности или на многихъ точкахъ лежащихъ не на одной прямой, чѣмъ больше эта поверхность въ отношеніи къ высотѣ центра тяжести надъ основаніемъ. По этому повозка, при одинаковыхъ впрочемъ обстоятельствахъ, тѣмъ меньше будетъ подвержена паденію на покатомъ мѣстѣ, чѣмъ ниже лежитъ центръ тяжести т. е. чѣмъ ниже лежитъ на ней грузъ и чѣмъ больше другъ отъ друга разстояніе обоихъ заднихъ и переднихъ колесъ. Въ этомъ состоитъ причина, почему къ ниж-

нимъ частямъ высокихъ предметовъ, стоящихъ на малыхъ основаніяхъ, прикрѣпляются свинцовыя плитки. Большая плотность свинца въ отношеніи ко многимъ другимъ тѣламъ производитъ то, что центръ тяжести весьма понижается и слѣд. равновѣсіе дѣлается гораздо устойчивѣе.

Другой родъ устойчиваго равновѣсія, не смотря на то, что центръ тяжести подпирается снизу, представляетъ сегментъ шара, лежащій внизъ выпуклою поверхностію напр. часовое стекло ABD, (фиг. 28) которое остается въ равновѣсіи, когда точка подпоры A находится прямо подъ центромъ тяжести C. Если его вывести изъ этого положенія напр. въ положеніе D′A′B′, то легко видно, что центръ тяжести C′, находящійся отъ D′ въ сторону своего первоначальнаго положенія, опять будетъ возвращаться въ это положеніе. Еслибъ центръ тяжести лежалъ гораздо выше напр. въ F и при измѣненіи своего положенія передвинулся бы въ F′, то тогда тѣло опрокинулось бы, пришедши въ положеніе противоположное прежнему. Итакъ высокій цилиндръ съ полушарообразнымъ основаніемъ BADG (фиг. 29) можетъ быть тотчасъ выведенъ изъ равновѣсія въ такое положеніе, въ которомъ онъ опрокидывается, если его центръ тяжести лежитъ высоко въ F. Если же центръ тяжести цилиндра будетъ находиться низко по той причинѣ, что верхняя часть будетъ напр. изъ пробочнаго дерева, нижняя же часть состоитъ изъ свинца, отъ котораго центръ тяжести перемѣстился бы въ F′, то такой цилиндръ даже изъ лежачаго положенія пришелъ бы въ положеніе устойчиваго равновѣсія. Теперь если сдѣлать цилиндръ такъ чтобъ не было замѣтно, что нижняя часть состоитъ изъ свинца а верхняя изъ пробки, то для глаза очень страннымъ покажется, что онъ поднимается самъ собою. На этомъ основано дѣланіе дѣтскихъ игрушекъ, въ кото-

рыхъ вмѣсто верхней части цилиндра употребляется изъ пропки человѣческая фигура, которая сама собою подымается на свои ноги, прикрѣпленныя къ свинцовому полушарію, какъ скоро кладутъ ее на столъ въ горизонтальномъ положеніи.

§ 33.

Основываясь на предыдущемъ легко можно опредѣлить практическимъ способомъ въ какомъ нибудь тѣлѣ положеніе центра тяжести. Тѣло привѣшивается на нить; потомъ на поверхности его означается двумя точками то направленіе, въ которомъ продолженіе отвѣсной нити пересѣкаетъ тѣло. Потомъ привѣшиваютъ тѣло за другую точку и опять означаютъ точками продолженіе нити. Эти двѣ линіи должны пересѣкаться во внутренности тѣла въ одной точкѣ, которая и будетъ центръ тяжести, потому что центръ тяжести находится на той и другой линіи вмѣстѣ, а двѣ линіи пересѣкаются въ одной только точкѣ.

§ 34.

Изъ теоріи центра тяжести объясняются многія явленія встрѣчающіяся въ общежитіи: напр. почему наклоняются впередъ, когда несутъ большія тяжести, почему напротивъ толстыя особы выгибаются назадъ и т. д. это дѣлается всегда для того, чтобы привести центръ тяжести въ средину между ногами. Если основаніе, на которомъ мы стоимъ, очень мало, какъ напр. канаты на которыхъ танцуютъ, то отъ малѣйшаго перемѣщенія центра тяжести нашего тѣла нарушается не устойчивое равновѣсіе; въ такихъ случаяхъ для вспомоществованія движенія тѣла важно употребленіе тяжелыхъ шестовъ, помощію которыхъ

стараются перемѣстить центръ тяжести тѣла на сторону противоположную той, въ которую падаютъ. Это дѣлается такъ, что большую половину шеста двигаютъ въ эту сторону.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

О ПРОСТЫХЪ МАШИНАХЪ.

§ 35.

До сихъ поръ мы разсматривали дѣйствіе внѣшнихъ силъ на твердыя тѣла, когда оно не посредственно оказывается на нихъ. Теперь мы приложимъ тѣже разсужденія къ случаю, въ которомъ дѣйствіе силъ сообщается тому тѣлу, которое мы хотимъ подвинуть, посредствомъ другихъ твердыхъ тѣлъ. Твердыя тѣла, употребляемыя для этого называются *машинами*, изъ которыхъ простѣйшія мы разсмотримъ подробнѣе.

О рычагѣ.

§ 36.

Рычагомъ, въ смыслѣ математическомъ, называется несгибающаяся линія, соединяющая 3 точки; на одну изъ этихъ точекъ A (фиг. 30) дѣйствуетъ сила, на другую B тѣло, котораго движеніе должно быть произведено силою, и которое обыкновенно называется *сопротивленіемъ*; наконецъ третья точка C неподвижна, такъ что рычагъ можетъ только вращаться около нея, тогда какъ сама она остается

на одномъ мѣстѣ; эта точка называется *точкою опоры*. Обыкновенно сопротивленіе есть какая нибудь масса Q, которая своею тяжестію тянетъ внизъ одинъ конецъ рычага въ вертикальномъ направленіи. Если въ семъ случаѣ рычагъ находится въ горизонтальномъ направленіи, то направленіе дѣйствія повѣшенной тяжести перпендикулярно къ рычагу; если же тяжесть Q, которую нужно поднять, находится на рычагѣ AB негоризонтальномъ (фиг. 30 B) то она дѣйствуетъ на него подъ угломъ CBQ. Тяжесть Q мы можемъ замѣнить какою нибудь другою силою, дѣйствующею на точку B въ направленіи BQ; если эта новая сила такъ велика, что она дѣйствуя снизу вверхъ въ состояніи держать тяжесть Q, то очевидно, что дѣйствіе ея на рычагъ будетъ равно дѣйствію тяжести Q. По этому мы предложимъ нашу задачу въ общемъ видѣ: на оконечную точку B (фиг. 31) какого нибудь рычага дѣйствуетъ сила BQ подъ угломъ CBQ $= \beta$; спрашивается какое произойдетъ движеніе, если на другую конечную точку A дѣйствуетъ другая сила P подъ угломъ CAP $= \alpha$? Если мы будемъ въ состояніи рѣшить задачу для какихъ угодно угловъ α и β, то мы рѣшимъ ее и въ томъ случаѣ, когда α и β будутъ прямые углы напр. когда на концахъ A и B повѣшены будутъ тяжести. Для рѣшенія нашей задачи замѣтимъ, что сила P, еслибъ она одна дѣйствовала въ направленіи AP, могла бы привести рычагъ въ вращательное движеніе совершенно противоположное тому, которое бы произошло отъ дѣйствія другой силы Q, еслибы она дѣйствовала одна въ направленіи BQ. По этому, если обѣ силы будутъ дѣйствовать вмѣстѣ, то или первая сила P возметъ перевѣсъ или вторая Q, или дѣйствіе обѣихъ уничтожится и небудетъ никакого движенія. Этотъ послѣдній случай равновѣсія особенно важенъ потому, что, если знаемъ въ

какомъ случаѣ силы находятся въ равновѣсіи, то въ случаѣ неравновѣсія легко будетъ опредѣлить, произойдетъ ли движеніе на сторону силы P или на сторону Q; именно: если сила дѣйствуетъ въ отношеніи болѣе благопріятствующемъ ей, нежели сколько нужно для равновѣсія, то движеніе послѣдуетъ на ея сторону; въ противномъ же случаѣ перевѣсъ будетъ на сторонѣ Q.

Итакъ наша задача перемѣнится въ слѣдующую:

Двѣ силы P и Q дѣйствуютъ на оконечныя точки прямолинейнаго рычага AB (фиг. 31) подъ углами α и β, спрашивается, при какихъ условіяхъ онѣ будутъ находиться въ равновѣсіи.

Рѣшеніе этой задачи будетъ очень легко, если мы къ ней приложимъ правило параллелограмма силъ. Въ самомъ дѣлѣ выразимъ величину силъ P и Q линіями AP и BQ и представимъ себѣ, что эти линіи суть діагонали параллелограммовъ $ApPM$ и $BqQN$; въ такомъ случаѣ мы знаемъ, что силу AP можно замѣнить двумя Ap и AM, а силу BQ силами BN и Bq, черезъ это не измѣняется дѣйствіе силъ P и Q. Но сила AM дѣйствуетъ прямо на точку C, которую мы считаемъ за неподвижную; также дѣйствуетъ и BN съ другой стороны; слѣд. дѣйствіе этихъ силъ уничтожается сопротивленіемъ точки C и остается только одно дѣйствіе двухъ силъ Ap и Bq, которыя для краткости мы означимъ буквами P' и Q' и это дѣйствіе равно будетъ дѣйствію силъ P и Q. Но очевидно, что мы имѣемъ:

$$Ap = AP \,.\, \sin\alpha \quad \text{и} \quad Bq = BQ \,.\, \sin\beta$$

или

$$P' = P \,.\, \sin\alpha \quad \text{и} \quad Q' = Q \,.\, \sin\beta.$$

Слѣдов. задача наша сводится на рѣшеніе вопроса, въ какомъ случаѣ параллельныя силы P' и Q' будутъ находиться въ равновѣсіи.

Но по предъидущему мы можемъ для двухъ параллельныхъ силъ найти одну равнодѣйствующую, которая произведетъ тоже дѣйствіе, какое производили обѣ силы вмѣстѣ и которая по величинѣ равна суммѣ ихъ; точка приложенія ея опредѣлится тогда, когда мы раздѣлимъ разстояніе между точками приложенія обѣихъ силъ P′ и Q′ въ обратномъ отношеніи этихъ силъ. Съ другой стороны очевидно, что одна сила всегда приведетъ рычагъ въ движеніе, кромѣ того случая, когда она будетъ дѣйствовать на неподвижную точку C; итакъ мы должны заключить, что равновѣсіе между силами P′ и Q′ будетъ имѣть мѣсто только тогда, когда равнодѣйствующая ихъ будетъ проходить черезъ точку C т. е. когда точка опоры имѣетъ такое положеніе что:

$$P' : Q' = CB : CA$$

или $P . \sin\alpha : Q . \sin\beta = CB : CA$

Если для краткости положимъ $CB = b$ и $CA = a$, то черезъ умноженіе крайнихъ и среднихъ членовъ пропорціи получимъ:

$$a . P . \sin\alpha = b . Q . \sin\beta$$

Опустивъ изъ точки опоры C перпендикуляры Cm и Cn на направленія силъ AP и BQ получимъ:

$$Cm = AC . \sin\alpha = a . \sin\alpha \text{ и } Cn = CB . \sin\beta = b . \sin\beta$$

Слѣд. $Cm . P = a . P . \sin\alpha$ и $Cn . Q = b . Q . \sin\beta$.

Итакъ вмѣсто условнаго уравненія равновѣсія:

$$a . P . \sin\alpha = b . Q . \sin\beta$$

имѣемъ совершенно равнозначущее уравненіе

$$Cm . P = Cn . Q$$

или если Cm означимъ черезъ p, а Cn черезъ q то для условнаго уравненія равновѣсія мы имѣемъ:

$$P . p = Q . q .$$

Линіи p и q или Cm и Cn показываютъ разстоянія силъ отъ точки опоры C: произведенія силъ на ихъ разстоянія отъ точки опоры (т. е. $P . p$ и $Q . q$) называются *моментами силъ*; итакъ изъ предъидущаго мы выводимъ для рычага слѣд. предложеніе:

Двѣ силы находятся въ равновѣсіи на рычагѣ тогда, когда моменты ихъ равны и когда онѣ заставляютъ рычагъ вращаться въ противоположныхъ направленіяхъ; легко можно видѣть, что это условіе необходимо, ибо если бы сила Q дѣйствовала не отъ B къ Q, но обратно отъ Q къ B, то каждая сила стремилась бы поворотить рычагъ въ одну и туже сторону и не было бы ни какой противоположности, а слѣд. и никакой возможности равновѣсія.

Если рычагъ не прямолинейный а ломаный, какъ напр. ACB′, то можно точку приложенія силы Q перенести изъ B′ въ B, не измѣняя ни въ чемъ дѣйствія ея; слѣдоват. моментъ силы Q въ ломаномъ рычагѣ будетъ также, какъ и въ прямолинейномъ $= Q . q$; по этому выведенное нами правило равенства моментовъ имѣетъ мѣсто и для ломанаго рычага.

§ 37.

До сихъ поръ мы предполагали, что точка опоры рычага лежитъ между точками приложенія обѣихъ силъ; такой рычагъ называется рычагомъ перваго рода; но часто точки приложенія силъ находятся по одну сторону точки опоры C, (фиг. 32); одна сила Q тянетъ отъ B къ Q, другая P отъ A къ P. Такой рычагъ называется рычагомъ втораго рода. Спрашивается, какъ найти въ этомъ случаѣ условія равновѣсія?

Для рѣшенія этого вопроса и здѣсь мы бы могли подобнымъ образомъ поступить, какъ поступили для рычага перваго рода, но мы скорѣе достигнемъ своей цѣли слѣдующимъ образомъ:

Представимъ себѣ, что рычагъ AC продолженъ по другую сторону C до точки D такъ, что $CD = CB$; потомъ на точку D заставимъ дѣйствовать двѣ силы Q' и Q'' равныя но противоположныя, изъ которыхъ каждая равна и параллельна Q и которыхъ направленія DQ' и DQ'' параллельны направленію BQ; такъ какъ дѣйствіе ихъ противоположно одно другому, то точка D а слѣд. и рычагъ не будетъ двигаться отъ дѣйствія однихъ этихъ двухъ силъ, а потому 4 силы P, Q, Q', Q'' дѣйствуютъ точно также, какъ двѣ параллельныя силы P и Q. Силы Q и Q' уравновѣшиваются, потому что онѣ дѣйствуютъ какъ на рычагѣ перваго рода, на которомъ моменты равны, ибо, (какъ это легко видѣть) изъ равенства CB и CD слѣдуетъ равенство перпендикуляровъ Cq и Cq' или q и q', слѣд. и равенство моментовъ $Q.q = Q'.q'$. Итакъ мы не измѣнимъ дѣйствія четырехъ силъ, если опустимъ силы Q и Q'; по этому остальныя силы P и Q'' будутъ дѣйствовать какъ первоначальныя силы P и Q, но онѣ дѣйствуютъ на рычагѣ перваго рода; слѣд. мы получимъ равновѣсіе, какъ скоро моменты ихъ будутъ равны т. е. когда будетъ

$$P.p = Q''.q'$$

но такъ какъ $Q'' = Q$ и $q' = q$, то равновѣсіе будетъ имѣть мѣсто, когда для первоначальныхъ силъ P и Q будетъ

$$P.p = Q.q$$

Слѣд. для рычага втораго рода мы имѣемъ совершенно тотъже законъ, который выведенъ для рычага перваго рода; всегда нужно чтобъ моменты были равны для полученія равновѣсія.

Изъ этого общаго закона какъ для рычага перваго, такъ и для втораго рода выводятся правила для частныхъ случаевъ, какъ простыя слѣдствія.

Пусть AB (фиг. 33) будетъ рычагъ, C точка опоры; пусть на точки A и B дѣйствуютъ силы P и Q въ отвѣсномъ направленіи; въ этомъ случаѣ разстоянія направленія силъ отъ точки опоры будутъ линіи CA и CB т. е. плеча самаго рычага a и b слѣд. мы будемъ имѣть

$$P.a = Q.b.$$

или пропорцію $P : Q = b : a$ = CB : CA

т. е. для равновѣсія силы должны находиться въ обратномъ отношеніи плечей рычаговъ. Итакъ если плечо CA будетъ въ 2 раза длиннѣе плеча CB, то сила P должна быть вдвое менѣе силы Q.

Этотъ законъ имѣетъ мѣсто и тогда, когда направленія силъ только параллельны а не перпендикулярны къ AB. Въ самомъ дѣлѣ для этого случая мы имѣемъ (фиг. 34)

$$P.p = Q.q$$

или $P : Q = q : p = Cq : Cp.$

но легко видѣть что $Cq : Cp = CB : CA$

слѣд. $P : Q = CB : CA$

Итакъ если силы, дѣйствующія на A и B будутъ какія нибудь тяжести, которыхъ направленія всегда параллельны т. е. перпендикулярны къ поверхности земли, то это отношеніе всегда остается справедливымъ, находится ли рычагъ въ горизонтальномъ положеніи (фиг. 35) или стоитъ такъ, какъ показано въ фигурѣ, (фиг. 34), потому что AP и BQ всегда остаются параллельными.

Если оба плеча CA и CB рычага равны, то равновѣсіе можетъ имѣть мѣсто только тогда, когда параллельныя силы P и Q будутъ равны, потому что только въ этомъ случаѣ мы получимъ равные моменты.

Употребленіе рычаговъ въ общежитіи весьма многораз-

лично, только нужно замѣтить что въ практикѣ мы не можемъ употреблять такихъ рычаговъ, которые мы до сихъ поръ разсматривали, и которые называются *математическими*; мы должны употреблять всегда рычаги *физическіе*. Для математическаго рычага принимается математическая линія, составляющая плеча рычага, тогда какъ въ природѣ мы должны употреблять не сгибаемые шесты, которыхъ тяжесть тоже дѣйствуетъ какъ сила.

На это нужно обращать вниманіе въ слѣдующемъ:

§ 38.

Первое употребленіе рычага мы видимъ въ вѣсахъ, которыхъ находятся три рода: обыкновенные вѣсы, Римскіе вѣсы и безмѣнъ.

Обыкновенные вѣсы больше всѣхъ употребляются, какъ въ общежитіи, такъ въ особенности въ ученыхъ изслѣдованіяхъ, потому что они даютъ самые безошибочные и точные результаты; по этой причинѣ мы теперь опишемъ ихъ, въ такомъ видѣ, какъ они употребляются въ совершеннѣйшемъ состояніи; черезъ это намъ легко будетъ понять устройство обыкновенныхъ торговыхъ вѣсовъ. Хорошіе вѣсы состоятъ во первыхъ изъ коромысла т. е. металлическаго шеста ADBE (фиг. 35) который въ серединѣ DE толще, а къ концамъ становится постепенно тоньше и тоньше, потому что рычагъ въ серединѣ долженъ представлять больше твердости, нежели на концахъ. Въ точкѣ C, въ самой срединѣ, чрезъ коромысло проходитъ ножъ т. е. стальная трехсторонняя призма, обращенная острымъ ребромъ внизъ; на концахъ коромысла въ точкахъ F и G лежатъ подобные и параллельные первому ножи, какъ показано въ приложенной фигурѣ, только въ обратномъ положеніи, такъ что острыя ихъ

ребра обращены вверхъ; коромысло посредствомъ концевъ средняго ножа, выходящихъ изъ него, лежитъ на двухъ горизонтальныхъ поверхностяхъ *mn* изъ агата или халцедона или изъ другаго твердаго камня. Такимъ образомъ коромысло весьма легко двигается на острiѣ C, такъ что C служитъ точкою опоры рычагу AB. На острія F и G опираются шлифованныя цилиндрическія поверхности, сдѣланныя изъ стали, изъ агата или халцедона, которыя на крючкахъ H и K держатъ чашки L и M; на одну изъ нихъ кладется взвѣшиваемое тѣло, на другую кладутся гири. Наконецъ въ срединѣ находится показатель или стрѣлка EN, которая движется передъ дугою, раздѣленною на градусы, вмѣстѣ съ коромысломъ и показываетъ его положеніе. Если хотятъ взвѣсить какое нибудь тѣло, то кладутъ его на одну изъ чашекъ а на другую постепенно прибавляютъ гири до тѣхъ поръ, пока вѣсы не будутъ наклоняться ни на ту ни на другую сторону т. е. пока стрѣлка не будетъ показывать на *o*; тогда положенныя на чашку гири покажутъ вѣсъ тѣла, если только вѣсы вѣрны. Первое условіе вѣрности вѣсовъ состоитъ въ томъ, чтобъ три острія совершенно были параллельны между собою, горизонтальны и лежали въ одной плоскости FCG и чтобъ разстояніе FC было равно CG. Тогда если чашки FL и GM совершенно равны и на нихъ лежатъ равныя гири P и Q и если мы еще не принимаемъ въ разсужденіе вѣса коромысла, то мы получимъ двѣ равныя отвѣсныя, слѣд. параллельныя силы, которыя въ равныхъ разстояніяхъ дѣйствуютъ на математическій рычагъ FCG; слѣд. будетъ

$$P . FC = Q . GC.$$

По этому вѣсы будутъ въ равновѣсіи; но они останутся въ равновѣсіи также и во всякомъ наклонномъ положеніи, какъ мы видѣли выше, слѣд. въ такихъ вѣсахъ равновѣсіе

будетъ означено не положеніемъ стрѣлки, но тѣмъ, что коромысло, въ какомъ угодно положеніи, остается въ покоѣ. Но совсѣмъ другое будетъ, если примемъ въ разсужденіе и коромысло. Если оно сдѣлано такъ, что одна его половина CA съ такою же силою тянетъ внизъ, какъ другая половина CB съ другой стороны, то при горизонтальномъ положеніи его, равновѣсіе будетъ имѣть мѣсто какъ прежде, и слѣд. если стрѣлка стоитъ при *o*, то, не смотря на тяжесть коромысла, взвѣшиваніе будетъ вѣрно. Если коромысло не находится въ горизонтальномъ положеніи, то, вообще говоря, равновѣсіе не будетъ имѣть мѣста. Когда, при горизонтальномъ положеніи коромысла, плечо CA столько же вѣситъ, какъ и CB, то центръ тяжести всего коромысла по предъидущему долженъ лежать на вертикальной линіи, проведенной черезъ C; при этомъ могутъ быть три случая: центръ тяжести будетъ лежать или въ точкѣ опоры C (фиг. 36), или ниже этой точки въ *p*, или выше въ *q*. Если онъ лежитъ въ точкѣ C, то коромысло само по себѣ остается въ равновѣсіи во всякомъ положеніи; и посліку по нашему предположенію тоже самое имѣетъ мѣсто и въ то время, когда на коромыслѣ висятъ чашки и на нихъ кладутся равныя тяжести, то въ этомъ случаѣ тяжести сіи дѣйствуютъ точно такъ, какъ на математическомъ рычагѣ съ равными плечами. Если центръ тяжести лежитъ въ *q* выше C, то коромысло, при горизонтальномъ положеніи, будетъ находиться въ равновѣсіи; но какъ скоро оно не много измѣнитъ это положеніе, то должно будетъ совершенно перевернуться, ибо тогда мы имѣемъ случай неустойчиваго равновѣсія. Это въ практикѣ было бы весьма неудобно.

Если же центръ тяжести коромысла лежитъ на отвѣсной линіи въ точкѣ *p* ниже C, то вѣсы при горизонтальномъ положеніи коромысла, съ равными тяжестями на чашкахъ, будутъ находиться въ равновѣсіи, потому что коромысло само по себѣ находится въ равновѣсіи и двѣ равныя тяжести на равныхъ плечахъ вѣсовъ также уравновѣшиваются. Если тогда вывесть вѣсы изъ горизонтальнаго положенія, то центръ тяжести опять упадетъ въ первоначальное положеніе и, послѣ нѣсколькихъ колебаній въ ту и другую сторону, приходитъ въ горизонтальное положеніе. Въ этомъ состоитъ удобство вѣсовъ въ практикѣ и потому въ вѣсахъ центръ тяжести коромысла всегда находится ниже точки опоры.

§ 39.

Если тяжесть на одной чашкѣ будетъ не много больше, нежели на другой, то при послѣднемъ положеніи центра тяжести вѣсы также придутъ въ равновѣсіе, но тогда коромысло не будетъ въ горизонтальномъ положеніи и стрѣлка не будетъ на *o*. Это легко можно видѣть изъ слѣдующаго: пусть ACB (фиг. 37) будетъ линія соединяющая три острія вѣсовъ A, C, B; пусть AC$=$CB и предположимъ, что тяжести P и Q привѣшены съ обѣихъ сторонъ на точкахъ A и B посредствомъ только что описаннаго устройства; пусть центръ тяжести коромысла находится въ *q*, въ одной отвѣсной линіи съ точкою C. Изъ самаго понятія о центрѣ тяжести слѣдуетъ, что коромысло дѣйствуетъ такъ, какъ будто бы вся масса его сосредоточена была въ *q* и дѣйствіе всего прибора будетъ точно такое же, какое было бы, если бы на математической рычагъ AB отвѣсно дѣйствовали двѣ равныя силы P и Q и если бы третья равная тяжести M на коромысло дѣйствовала по отвѣсному направленію внизъ въ точкѣ *q*. Слѣд. въ этомъ положеніи по предъидущему вѣсы будутъ въ равновѣсіи. Но если не измѣняя Q приба-

вимъ къ P небольшую тяжесть p, то тяжестію p равновѣсіе будетъ нарушено и сторона A будетъ понижаться. Если она понизится на уголъ $ACA' = \alpha$, то линія Cq также повернется къ Cq' и уголъ qcq' будетъ $= \alpha$; итакъ масса M, которую мы представляемъ сосредоточенною въ q', будетъ тянуть вѣсы въ сторону противоположную той, въ которую тянетъ ихъ тяжесть p и отъ момента обѣихъ силъ будетъ зависѣтъ движеніе на сторону одной или другой силы т. е. пониженіе плеча CA или повышеніе его. Очевидно, что моментъ силы p есть $p.cb$, и моментъ тяжести $M = M.ck$; если оба эти момента равны, то вѣсы будутъ въ равновѣсіи. Если положимъ, что длина рычага $CA = CB = b$ а разстояніе центра тяжести отъ точки опоры $cq = a$, то очевидно будетъ $Cb = b.\text{Cos}\ \alpha$ и $Ck = a.\sin\ \alpha$.

Слѣд. въ случаѣ равновѣсія мы имѣемъ:

$$p.b.\text{Cos}.\alpha = q.a.\text{Sin}.\alpha.$$

откуда получимъ $\frac{p.b}{q.a} = \text{tang}.\alpha$

Такъ какъ величина tang α возрастаетъ отъ 0 до ∞, въ то время какъ уголъ α увеличивается отъ o до 90; то всегда можно найти уголъ, котораго тангенсъ будетъ равенъ величинѣ $\frac{p.b}{q.a}$, необходимо заключающейся между o и ∞, слѣд. и равновѣсіе всегда будетъ имѣть мѣсто. Далѣе видно, что уголъ α, для одной и той же прибавочной тяжести p, бываетъ всегда тѣмъ больше, чѣмъ меньше a т. е. чѣмъ ближе къ точкѣ опоры находится центръ тяжести. Слѣд. вѣсы, для одной и той же прибавочной тяжести, тѣмъ больше будутъ склоняться на сторону, т. е. они будутъ тѣмъ чувствительнѣе, чѣмъ ближе къ точкѣ опоры будетъ находиться центръ тяжести коромысла.

Такъ какъ для однихъ и тѣхъ же вѣсовъ величина $\frac{b}{q.a}$ остается постоянною величиною, которую для краткости мы означимъ буквою c, то мы получимъ.

$$cp = \text{tang}.\alpha$$

Слѣд. уголъ α будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше будетъ p; по этому при равновѣсіи коромысло тѣмъ больше будетъ наклоняться на сторону, и слѣд. показатель будетъ означать тѣмъ большее число градусовъ, чѣмъ больше p.

Если вмѣсто p положимъ на сторону A другую прибавочную тяжесть p', то получимъ другой уголъ равновѣсія α' и очевидно будемъ имѣть:

$$cp : cp' = \text{tang}.\alpha : \text{tang}\ \alpha'$$

или $$p : p' = \text{tang}.\alpha : \text{tang}\ \alpha'.$$

Если углы α и α' очень малы, то мы знаемъ изъ тригонометріи, что тангенсы весьма малыхъ угловъ пропорціональны самимъ угламъ, слѣд. для малыхъ угловъ мы получимъ:

$$p : p' = \alpha : \alpha'$$

т. е. прибавочныя тяжести пропорціональны угламъ отклоненія. Итакъ если бы посредствомъ опытовъ найдено было, что напр. одна доля заставляетъ стрѣлку EN отклониться на 1^0, то мы знаемъ, что отъ двухъ долей стрѣлка отклонилась бы на 2^0, отъ трехъ на 3^0 и т. д.

По этому мы можемъ сокращать дѣйствіе взвѣшиванія, не уменьшая точности его; именно если при взвѣшиваніи вѣсы находятся близко отъ горизонтальнаго равновѣсія, то не нужно прибавлять небольшія гирьки для достиженія совершенной горизонтальности; скорѣе можно достигнуть цѣли взвѣшиванія — считая число градусовъ, означенныхъ стрѣлкою, и потомъ по предъидущему переводя градусы на вѣсъ.

Обыкновенные торговые вѣсы не съ такою точностію устроены, какъ тотчасъ описанные, слѣд. не такъ вѣрны; однако теорія устройства ихъ остается таже самая. Въ нихъ нѣтъ раздѣленій на градусы; по этому въ нихъ нужно прибавлять или отнимать гири до тѣхъ поръ, пока показатель ихъ (или стрѣлка вѣсовъ) придетъ въ нормальное положеніе, въ которомъ онъ долженъ быть для горизонтальнаго равновѣсія.

§ 40.

Для вѣрности вѣсовъ по предъидущему необходимо, чтобы было (фиг. 35) разстояніе $FC = CG$; Если этого нѣтъ, но напр. $FC > CG$ и тяжесть P, положенная на чашку L, уравновѣшивается тяжестію Q на чашкѣ M, то мы получимъ

$$P . FC = Q . GC$$

но такъ какъ $FC > GC$

то будетъ $P < Q$.

Такимъ образомъ можно бы было подумать, что на чашкахъ находятся равныя тяжести, между тѣмъ какъ онѣ могутъ быть очень различны. Если бы купецъ употреблялъ такіе вѣсы и на чашкѣ M положилъ напр. 1 фунтъ а на другой L товаръ, то товаръ проданный купцемъ за 1 фунтъ, вѣсилъ бы въ самомъ дѣлѣ меньше одного фунта. Однако есть очень простое средство удостовѣриться въ вѣрности вѣсовъ; нужно только послѣ перваго взвѣшиванія положить товаръ на чашку M, а гири на чашку L. Если вѣсы вѣрны, то равновѣсіе вновь имѣетъ мѣсто, если же нѣтъ, то моментъ гирь будетъ тяжелѣе товару, потому что большая тяжесть дѣйствуетъ на длиннѣйшее плечо рычага; слѣд. не будетъ равновѣсія. Этотъ способъ переложенія есть обыкновенное средство узнавать вѣрность вѣсовъ.

Мы обязаны Бордѣ (Borda) способомъ производить точное взвѣшиваніе, даже посредствомъ невѣрныхъ вѣсовъ; способъ этотъ называется *способомъ двойнаго взвѣшиванія.* На одну изъ чашекъ напр. L кладутъ взвѣшиваемое тѣло, а на другую M такое количество какого нибудь вещества, напр. сухаго песку, отъ котораго вѣсы пришли бы въ равновѣсіе; потомъ снимаютъ взвѣшиваемое тѣло съ чашки L (нетрогая песокъ на чашкѣ M), а вмѣсто него кладутъ гири до тѣхъ поръ, пока вѣсы опять придутъ въ равновѣсіе. Сумма положенныхъ на чашкѣ гирекъ есть искомый вѣсъ тѣла. Легко можно видѣть, что этотъ результатъ не зависитъ отъ вѣрности вѣсовъ, потому что при этомъ взвѣшиваніи тѣло и гири дѣйствуютъ на одно и тоже плечо вѣсовъ и уравновѣшиваютъ одинъ и тотъ же моментъ на другой сторонѣ.

Итакъ если въ ученыхъ изслѣдованіяхъ мы хотимъ употребить способъ Борды, то для вѣрности довольно, если вѣсы будутъ чувствительны т. е. если стрѣлка вѣсовъ, отъ прибавленія весьма малой тяжести, отклоняется на значительный уголъ. Изъ опыта опредѣлено, что вѣсы можно считать чувствительными, если, при положеніи на каждую чашку одного фунта, они даютъ еще значительное отклоненіе стрѣлки, при прибавленіи $\frac{1}{100}$ долей на одну только чашку. Чувствительность вѣсовъ зависитъ, какъ мы уже видѣли, частію отъ того, что центръ тяжести коромысла лежитъ близко къ точкѣ опоры, частію же отъ того, что коромысло легко обращается около точки опоры. Вотъ причина для чего въ вѣсахъ употребляется призма, которой острое ребро лежитъ на плоскости сдѣланной изъ твердаго камня. Но какъ острое ребро, безпрестанно давящее на твердую поверхность, могло бы скоро притупиться, то для избѣжанія этого точнѣйшіе вѣсы дѣлаются такъ, что коромысло ихъ посредствомъ,

особеннаго устройства поднимается съ подставокъ въ то время, когда ихъ не употребляютъ.

§ 41.

Римскіе вѣсы (фиг. 38) состоятъ изъ неравноплечаго рычага АВ, котораго точка опоры находится въ С; за точку D вѣсы держатся въ рукѣ или привѣшиваются на гвоздѣ. Короткій конецъ А обыкновенно толстъ, на немъ виситъ крючекъ А, а на крючкѣ чашка; тяжесть Р, напр. 1 фунтъ, можетъ быть повѣшена въ какой угодно точкѣ длиннаго плеча. Если устроить вѣсы такъ, чтобы одно плечо СВ безъ тяжести Р уравновѣшивало толстое плечо А вмѣстѣ съ крючкомъ и съ чашкою и потомъ положить на чашку тяжесть Q вѣсомъ въ 1 ф., то Р до тѣхъ поръ должно будетъ подвигать, пока разстояніе его отъ С будетъ равно разстоянію крючка А отъ С. Если на чашку Q положимъ 2 ф. то Р будетъ на растояніи вдвое большемъ отъ С, потому что только въ этомъ случаѣ моменты равны между собою; для трехъ фунтовъ разстояніе должно быть втрое больше и пр. Итакъ если на всѣхъ точкахъ, на которыхъ тяжесть Р уравновѣшивается сперва 1 ф. потомъ 2 ф. потомъ 3 ф. и проч. поставимъ числа 1, 2, 3 и пр. то при взвѣшиваніи эти числа тотчасъ покажутъ намъ вѣсъ товара, положеннаго на Q, если напередъ опредѣлимъ, на какой точкѣ нужно поставить Р, чтобы вѣсы пришли въ равновѣсіе. Такіе вѣсы имѣютъ то преимущество, что въ нихъ не нужны гири, но они уступаютъ обыкновеннымъ вѣсамъ въ точности; по этому употребленіе ихъ очень полѣзно въ торговлѣ, особенно для большихъ тяжестей, но не въ ученыхъ изысканіяхъ.

§ 42.

Безмѣнъ есть также не равноплечій рычагъ, но отличается отъ Римскихъ вѣсовъ тѣмъ, что въ немъ передвигается не тяжесть, но точка опоры. На цилиндрическомъ шестѣ АВ (фиг. 39) въ точкѣ А виситъ крючекъ, на который вѣшается взвѣшиваемый товаръ, а къ точкѣ В прикрѣпляется тяжесть Q. Точку опоры составляетъ шнурокъ CD, который берется въ руки и передвигается по длинѣ шеста до тѣхъ поръ, пока повѣшенный на крючкѣ товаръ Р и тяжесть Q придутъ въ равновѣсіе. Чѣмъ тяжелѣе Р, тѣмъ ближе С должно быть подвинуто къ А. Мѣдные гвоздики вбитые въ шестъ числомъ своимъ показываютъ число фунтовъ. Точки, въ которыхъ должны быть вбиты гвоздики для 1, 2, 3 и пр. фунтовъ, находятъ механически, употребляя предварительно, вмѣсто товару, тяжести вѣсомъ въ 1, 2, 3 и пр. фунтовъ и передвигая шнурокъ взадъ и впередъ до тѣхъ поръ пока не будетъ равновѣсія; на той точкѣ, гдѣ въ этомъ случаѣ стоитъ С, вбиваютъ гвоздики; безмѣнъ у насъ весьма употребителенъ, но онъ въ сравненіи съ другими вѣсами даетъ результаты менѣе вѣрные.

§ 43.

Кромѣ описаннаго употребленія для вѣсовъ, рычагъ служитъ также въ весьма многихъ случаяхъ, обыкновенно для сбереженія силы. Примѣръ этаго мы видимъ въ поднятіи большихъ тяжестей посредствомъ брусковъ, которые однимъ концомъ подкладываются подъ тяжесть, въ употребленіи щипцевъ, ножницъ, веселъ и пр. даже движеніе нашихъ членовъ, рукъ и ногъ производится по законамъ рычага. На примѣръ если мы хотимъ вытянутою рукою

поднять со стола тяжесть, то часть руки, называемая предплечіемъ обращается на своемъ плечномъ суставѣ C, (фиг. 40) мускулъ предплечія влечетъ ее въ срединѣ предплечія въ A и тяжесть оказываетъ давленіе на кисть руки B. Такъ какъ

$$CA : CB = 1 : 4$$

то наши мускулы должны оказывать силу въ 4 раза большую сопротивленія.

Изъ этого видно, что цѣль такого устройства руки не есть сбереженіе силы, но только выигрышъ скорости движенія. Въ самомъ дѣлѣ нужно поднять A только на 1 дюймъ для того, чтобы поднять тяжесть на 4 дюйма. Это ведетъ насъ ко второму употребленію рычага, которое мы часто замѣчаемъ въ машинахъ т. е. къ увеличенію скорости малаго движенія. Въ этомъ случаѣ сила должна дѣйствовать на меньшее плечо, а сопротивленіе на большее. Рычагъ BC обращается около точки C, сила P дѣйствуетъ на A (фиг. 41), тяжесть Q на B. Если предположимъ что

$$CB = 4CA,$$

то P должно быть $= 4Q$. Итакъ если P будетъ больше 4Q, то послѣдуетъ движеніе въ направленіи этой силы. Предположимъ что въ этомъ движеніи A въ одну секунду проходитъ изъ A въ A′; B въ тоже время пройдетъ дугу BB′. Теперь легко можно видѣть что концентрическія дуги $BB' : AA' = BC : AC$ или по прежнему предположенію $BB' = 4AA'$. Изъ этого простаго разсужденія видно, что если мы въ точкѣ A должны употребить силу, которая больше въ 4 раза, то за то движеніе, сообщенное тяжести въ B, будетъ въ 4 раза больше и наоборотъ, если бы сила P дѣйствовала въ точкѣ B, а тяжесть въ точкѣ A, то для равновѣсія P моглабъ быть въ 4 раза меньше Q, но за то въ случаѣ не равновѣсія сила P двигалась бы въ 4 раза больше нежели Q. Итакъ для рычага мы имѣемъ весьма важный законъ, который

имѣетъ мѣсто и во всѣхъ другихъ машинахъ; онъ состоитъ въ томъ, *что если при движеніи машинъ выигрывается сила, то столько же теряется скорости и наоборотъ, если выигрывается скорость, то столько же теряется силы*, такъ что произведеніе скорости движенія v на приводимую въ движеніе массу m, или $m.v$, остается при данной силѣ постоянною величиною, не зависящею отъ расположенія употребляемой машины. Выгода машинъ по этому состоитъ только въ томъ, что мы можемъ посредствомъ ихъ по произволу перемѣнять отношеніе множителей въ произведеніи $m.v$. — Если требуется напр. поднять весьма большую тяжесть, то обыкновенно не обращаемъ вниманія на то, сдѣлаемъ ли мы это въ минуту или въ 20 минутъ, итакъ мы заставимъ дѣйствовать силу на длинномъ плечѣ рычага; если же мы хотимъ ускорить движеніе и не заботимся о силѣ, то мы заставляемъ дѣйствовать силу на короткое плечо рычага, какъ это напр. происходитъ въ движеніи нашихъ рукъ, и какъ это часто требуется, именно когда нужно сдѣлать примѣтнымъ малое, едва для глазъ видимое, движеніе посредствомъ особеннаго устройства рычага. Такое устройство называется *ощутительнымъ рычагомъ*. Предположимъ напр. что мы хотимъ опредѣлить происходящее отъ нагрѣванія удлиненіе какого нибудь прута, которое въ самомъ дѣлѣ имѣетъ мѣсто, какъ мы увидимъ послѣ, но которое такъ мало, что мы не можемъ замѣтить его безъ увеличиванія. Для этой цѣли мы можемъ поступить слѣд. образомъ: пусть MN (фиг. 42) будетъ прутъ, конецъ его M прикрѣпленъ къ неподвижной точкѣ опоры, между тѣмъ какъ конецъ N при удлиненіи прута можетъ подвигаться впередъ. Конецъ N упирается въ маленькій цилиндръ B, который

прикрѣпленъ перпендикулярно къ рычагу CA, такъ что бы CA было напр. въ 10 разъ длиннѣе CB. Если отъ нагрѣванія конецъ N подвинется впередъ на $\frac{1}{100}$ дюйма, то B подвинется также на $\frac{1}{100}$ дюйма, но A на $\frac{1}{10}$ т. е. на величину, которую можно очень хорошо наблюдать, особенно когда конецъ A двигается на дугѣ FG, раздѣленной на равныя части.

Движеніе конца A можно еще увеличить другимъ ощутительнымъ рычагомъ, какъ показано въ фигурѣ (фиг. 43), гдѣ A дѣйствуетъ на второй рычагъ *ac* въ точкѣ *b*. Если *cb* въ 10 разъ меньше *ca*, то *a* опишетъ дугу въ 10 разъ большую, нежели A, слѣд. въ 100 разъ большую, нежели N. Итакъ въ нашемъ примѣрѣ при удлиненіи прута на $\frac{1}{100}$ дюйма *a* подвинулось бы на цѣлый дюймъ. При послѣднемъ устройствѣ рычагъ называется *двойнымъ ощутительнымъ рычагомъ*.

О блокѣ.

§ 44.

Блокъ также есть машина, которой дѣйствіе можно основать на теоріи рычага. Блокъ бываетъ подвижный и неподвижный.

Неподвижный блокъ есть плоскій цилиндръ или кругъ, обращающійся на оси C и имѣющій на окружности своей жолобъ, въ которомъ лежитъ веревка (фиг. 44); одинъ конецъ ея тянется тяжестію Q, а другой силою P. Веревка плотно прилегаетъ къ части BA блока и не скользитъ на немъ отъ дѣйствія тренія. Если станемъ разсматривать эту машину въ положеніи, показанномъ фигурою и проведемъ линіи CA и CB, то вмѣсто тренія мы могли бы веревку укрѣпить другимъ образомъ въ точкѣ A и B напр.

прибивая ее къ блоку гвоздями; для перваго мгновенія дѣйствіе очевидно было бы тоже самое. Итакъ 2 силы P и Q дѣйствуютъ на ломаномъ рычагѣ BCA и равновѣсіе будетъ имѣть мѣсто, если моменты будутъ равны т. е. (такъ какъ AP будетъ перпендикулярна къ CA и QB перпендикулярна къ CB) если

$$P \cdot CA = Q \cdot BC.$$

или (поелику CA = BC, какъ радіусы круга) если

$$P = Q$$

Итакъ мы видимъ, что въ неподвижномъ блокѣ не выигрывается сила; онъ служитъ только къ измѣненію направленія силы безъ потери ея, что часто бываетъ очень важно.

§ 45.

Совсѣмъ другое бываетъ на *подвижномъ блокѣ*. Онъ также состоитъ изъ плоскаго цилиндра, какъ и неподвижный; только веревка идетъ на немъ иначе. Одинъ конецъ ея прикрѣпленъ къ неподвижной точкѣ опоры M (фиг. 45), потомъ она обходитъ подвижной блокъ B, потомъ идетъ вверхъ параллельно прежнему направленію и обыкновенно наматывается на неподвижный блокъ N, а на концѣ ея дѣйствуетъ сила P. Неподвижный блокъ N не увеличиваетъ и не уменьшаетъ силы, но только даетъ веревкѣ удобнѣйшее направленіе.

Въ центрѣ блока B находится вилкообразная распорка, на которую опирается ось блока B; на нижней части этой распорки виситъ тяжесть Q. Изъ всего расположенія видно, что когда сила P поднимаетъ блокъ B, то онъ будетъ вертѣться около C; итакъ мы здѣсь имѣемъ рычагъ втораго рода, въ которомъ тяжесть дѣйствуетъ на B, сила на A, слѣд. для равновѣсія будемъ имѣть пропорцію:

$$P : Q = CB : CA = 1 : 2.$$

т. е. сила для подвижнаго блока вдвое меньше тяжести. Впрочемъ этотъ законъ справедливъ только въ томъ случаѣ, когда обѣ половины веревки, обходящей около блока, будутъ параллельны; если же онѣ непараллельны, то отношеніе силы къ тяжести менѣе и приборъ менѣе выгоденъ для сбереженія силы.

§ 46.

Часто соединяютъ вмѣстѣ нѣсколько неподвижныхъ блоковъ, какъ показано въ приложенной фигурѣ (фиг. 46); такое расположеніе блоковъ называется *полиспастомъ.* Концы веревокъ A, A′, A″ прикрѣплены къ крѣпкой перекладинѣ; другой конецъ B веревки AB прикрѣпленъ ко второму блоку C′; конецъ B′ къ третьему блоку C″ и такъ далѣе, наконецъ послѣдняя веревка A″ идетъ по послѣднему подвижному блоку C″ и обыкновенно около неподвижнаго блока D, посредствомъ котораго по произволу можно измѣнять направленіе силы P. Отношеніе силы P къ тяжести Q въ этомъ случаѣ легко можно опредѣлить. Въ самомъ дѣлѣ, ограничиваясь тремя блоками, представимъ себѣ, что на мѣстѣ втораго блока находится сила, которая тянетъ въ отвѣсномъ направленіи вверхъ, чтобы поднять тяжесть Q; изъ предъидущаго мы знаемъ, что она должна быть $= \frac{1}{2} Q$; слѣд. второй блокъ C′ долженъ поддерживать тяжесть $= \frac{1}{2} Q$; конецъ B′ долженъ будетъ поддерживать половину тяжести висящей на C′; точно также и блокъ C″; слѣд. онъ поддерживаетъ $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} Q = \frac{1}{2^2} Q$. Такимъ же образомъ P должно поддерживать половину тяжести висящей на C″, слѣд. $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2^2} Q = \frac{1}{2^3} Q$. Если бы мы

имѣли еще больше подвижныхъ блоковъ, предположимъ вообще число ихъ $= n$, то мы нашли бы подобнымъ образомъ, что

$$P = \frac{1}{2^n} Q.$$

т. е. нужно 2 возвысить въ степень, показываемую числомъ блоковъ; если потомъ тяжесть раздѣлимъ на полученное такимъ образомъ число, то будемъ имѣть величину силы, требуемой для уравновѣшиванія тяжести. Если бы напр. у насъ было 5 блоковъ, то одинъ фунтъ могъ бы уравновѣсить 32 фунта.

Другое отношеніе получается тогда, когда употребляютъ *полиспастъ* показанный въ (фиг. 47); въ немъ находится одинаковое число подвижныхъ и неподвижныхъ блоковъ. Неподвижные блоки суть A, B подвижные a, b. Изъ расположенія веревки видно, что дѣйствіе одного подвижнаго блока a должно быть тоже самое, какое происходитъ отъ другаго блока b, потому что одна и таже веревка въ тоже самое время натягивается силою P. Если бы былъ только одинъ подвижной блокъ, то бы сила P была $= \frac{1}{2} Q$; второй блокъ тоже даетъ $P = \frac{1}{2} Q$, слѣд. оба вмѣстѣ даютъ $\frac{1}{4} Q$. Если бы было 3 блока въ одной распоркѣ, то сбереженіе силы было бы въ 3 раза больше т. е. $P = \frac{1}{6} Q$ и т. д. слѣд. для n подвижныхъ блоковъ $P = \frac{1}{2n} Q$, т. е. въ полиспастѣ такого рода для полученія силы, могущей уравновѣсить какую нибудь тяжесть, нужно раздѣлить тяжесть на удвоенное число подвижныхъ блоковъ, по этому для 5 блоковъ $P = \frac{1}{10} Q$ т. е. тяжесть вѣсомъ въ 1 фунтъ при P уравновѣситъ 10 фунтовъ при Q.

Полиспастъ изображенный въ фигурѣ 48, дѣйствуетъ

точно также, какъ тотчасъ описанный; онъ весьма часто употребляется особенно при оснащиваніи кораблей.

Легко можно видѣть, что для подвижнаго блока найденный нами общій законъ (§ 45) остается совершенно вѣрнымъ т. е. сколько мы посредствомъ его сберегаемъ силы, столько же теряемъ скорости. Въ самомъ дѣлѣ, когда подвижной блокъ A (фиг. 49) дойдетъ до A′, то отъ веревки часть $m'np' - m'n'p' = m'np' - mnp = 2mm'$ сматывается; въ тоже время тянущая сила P подвигается на такое же разстояніе, тогда какъ тяжесть поднимается только на $m'm$, слѣд. на пространство вдвое меньшее. Итакъ въ подвижномъ блокѣ намъ нужно употреблять только половину силы, но за то сила должна сдѣлать движеніе вдвое большее движенія сообщаемаго тяжести Q. Совершенно тоже оказывается и на полиспастѣ; всегда мы теряемъ въ скорости столько, сколько выигрываемъ въ силѣ.

О воротѣ.

§ 47.

Воротъ есть машина, объясненіе которой легко выводится изъ закона дѣйствія рычага. На цилиндрѣ, или валѣ B (фиг. 50. A) виситъ тяжесть Q, на одномъ концѣ его прикрѣплено колесо; оба они обращаются около одной оси CC′; сила P дѣйствуетъ въ направленіи касательной къ колесу A. Очевидно, что все равно, въ какомъ бы мѣстѣ вала ни висѣла тяжесть Q. Итакъ мы можемъ предположить, что она дѣйствуетъ съ колесомъ въ одной плоскости, какъ показываетъ фигура 50. B; тогда очевидно, что моментъ тяжести будетъ $= Q.BC$, а моментъ силы $= P.AC$.

Если означимъ радіусъ блока BC буквою r, а радіусъ AC буквою R то получимъ:

$$P.R = Q.r$$

или

$$P : Q = r : R.$$

Итакъ если радіусъ вала въ 5 разъ меньше радіуса колеса, то можно на воротѣ силою равною 1 фунту, которая дѣйствуетъ на колесо, уравновѣсить тяжесть въ 5 фунтовъ дѣйствующую на валъ. Но легко можно видѣть, что тяжесть поднимается только на 1 футъ, тогда какъ сила должна пройти пространство 5 футовъ, потому что окружность вала относится къ окружности колеса какъ 1 : 5, и оба они обращаются около одной и тойже оси; слѣд. и здѣсь мы столько выигрываемъ для силы, сколько теряемъ для скорости. Воротъ обыкновенно употребляется для поднятія значительныхъ тяжестей напр. для вытягиванія вѣдеръ изъ глубокаго колодца; для этого обыкновенно на окружности колеса въ направленіи радіуса придѣлываются рукоятки, посредствомъ которыхъ поднимающій вѣдра поворачиваетъ колесо. Для опредѣленія отношенія силы къ тяжести нужно въ этомъ случаѣ взять за радіусъ колеса разстояніе отъ центра его до средины руки приложенной къ рукояткѣ.

Собственно такъ называемая *рукоятка* есть машина, которая съ воротомъ много имѣетъ сходства, но на мѣсто колеса она имѣетъ только одинъ радіусъ (фиг. 51) AB, на которой дѣйствуетъ сила посредствомъ части AD, прикрѣпленной къ нему перпендикулярно; и здѣсь тяжесть относится къ силѣ, какъ радіусъ вала относится къ плечу рукоятки BA.

О зубчатыхъ колесахъ.

§ 48.

Дѣйствіе зубчатыхъ колесъ легко выводится изъ дѣйствія ворота. На окружность колеса А (фиг. 52) дѣйствуетъ сила Р; къ одной и той же оси, около которой обращается А, придѣлывается другое маленькое колесо В, на окружности котораго находятся равные зубцы и между ними равные имъ промежутки; зубцами своими оно захватываетъ третье колесо А′. Съ этимъ послѣднимъ колесомъ, на одной съ нимъ оси, соединено колесо В′, на окружности котораго виситъ тяжесть Q.

Отношеніе силы Р къ тяжести Q находится весьма просто слѣдующимъ образомъ: представимъ себѣ, что въ точкѣ D окружности колеса А′ противодѣйствуетъ сила x тяжести Q, дѣйствующей на колесо В′; по закону ворота мы находимъ что, означая радіусы колесъ R′ и r', для равновѣсія

$$x = \frac{r'}{R'} \cdot Q$$

Также представимъ себѣ, что другая сила y въ точкѣ D колеса В противодѣйствуетъ силѣ Р. Пусть R и r будутъ радіусы колесъ А и В; тогда мы также получимъ для равновѣсія

$$y = \frac{R}{r} \cdot P$$

Такъ какъ обѣ эти силы дѣйствуютъ на одну точку D, общую обоимъ колесамъ и по противоположнымъ направленіямъ и какъ зубцы колеса В захватываютъ зубцы колеса А′, то равновѣсіе будетъ только тогда, когда $x = y$, т. е. когда

$$\frac{r'}{R'} \cdot Q = \frac{R}{r} \cdot P.$$

или когда $\quad P : Q = r.r' : R.R'$

Итакъ что бы получить отношеніе силъ Р и Q, дѣйствующихъ на большое и малое колесо, при равновѣсіи, нужно перемножить радіусы большихъ и малыхъ колесъ. Малыя колеса, изъ которыхъ каждое находится на одной оси съ большимъ, называются *шестернями* а большія собственно называются *зубчатыми колесами*. Еслибъ въ нашемъ случаѣ колеса были равны и шестерни тоже, но радіусъ каждой шестерни былъ $\frac{1}{5}$ радіуса зубчатаго колеса, то мы получили бы:

$$P : Q = \frac{1}{25} : 1 = 1 : 25.$$

т. е. сила была бы въ 25 разъ менѣе тяжести.

Но съ другой стороны также видно, что точка на окружности А (слѣд. и сила Р) проходитъ пространство въ 5 разъ большее пространства, проходимаго точкою на окружности шестерни В, а слѣд. и на окружности колеса А′; точно такимъ же образомъ точка на окружности А′ проходитъ пространство въ 5 разъ большее того, которое проходится точкою на окружности шестерни В′, и слѣд. сила Р проходитъ путь въ 25 разъ больше пути тяжести Q. И такъ мы и здѣсь столько же теряемъ въ скорости, сколько выигрываемъ въ силѣ.

Можно бъ было сдѣлать такъ, что бы зубцы шестерни В′ захватывали зубцы третьяго колеса А″, къ которому прикрѣплена шестерня В″, точно такимъже образомъ, какъ зубцы шестирни В захватываютъ зубцы колеса А′; шестерня В′ моглабъ захватывать четвертое колесо А″, имѣющее шестерню В‴ и пр.; наконецъ на послѣдней шестернѣ B_n привѣшена была бъ тяжесть. Очевидно, что для равновѣсія мы имѣли бы

$$P : Q = r.r'.r'' \ldots . r_n : R.R'.R'' \ldots . R_n$$

напротивъ скорость уменьшилась бы въ обратномъ отношеніи.

Такъ какъ для того, чтобъ зубцы колеса втораго входили въ промежутки между зубцами перваго, нужно что бъ они были равной величины, то очевидно, что число зубцевъ въ двухъ захватывающихся колесахъ будетъ пропорціонально окружностямъ слѣд. и радіусамъ. По этой причинѣ часто вмѣсто радіусовъ r, r', r''... R, R', R''... употребляютъ n, n', n'' . . . N, N', N'' . . . . которыя означаютъ число зубцевъ каждой шестерни и каждаго колеса.

§ 49.

Зубчатыя колеса часто употребляются въ большихъ и малыхъ машинахъ напр. въ мѣльницахъ, часахъ и проч. Въ часахъ обращается вниманіе не на то, чтобъ сберечь силу, но чтобъ измѣнить скорость.

Если предположимъ, что въ часахъ находится колесо A (фиг. 53), которое отъ механическаго устроенія совершаетъ полный оборотъ около своей оси въ 1 часъ, то стрѣлка CB, укрѣпленная на оси этаго колеса, также въ одинъ часъ совершила бы свой полный оборотъ, слѣд. эта стрѣлка показывала бы минуты. Требуется придѣлать къ часамъ такую стрѣлку EF, которая бы показывала часы и потому совершала бы полный оборотъ въ продолженіи 12 часовъ и слѣд. двигалась бы въ 12 разъ медленнѣе. Для этой цѣли на оси колеса A мы утверждаемъ шестерню C съ 8 зубцами; пусть зубцы его входятъ въ промежутки между зубцами другаго колеса D, имѣющаго 96 зубцевъ, или діаметръ въ 12 разъ большій; отъ этаго послѣднее колесо будетъ дѣлать полный оборотъ медленнѣе перваго въ 12 разъ, слѣд. оно обернется около своей оси одинъ только разъ, между тѣмъ какъ колесо A сдѣлаетъ 12 оборотовъ. Вмѣстѣ и стрѣлка EF, укрѣпленная на оси его въ E, оборотится въ продолженіи 12

часовъ только одинъ разъ; итакъ EF показывала бы часы, между тѣмъ какъ стрѣлка CB показывала бы минуты. Подобнымъ средствомъ сообщаются различныя скорости вращенія во всѣхъ механизмахъ подобныхъ механизму часовъ; изъ нихъ нѣкоторые гораздо сложнѣе, напр. такъ называемый *планетарій*, гдѣ посредствомъ поворачиванія рукоятки представляется движеніе всѣхъ планетъ вокругъ солнца.

О наклонной плоскости.

§ 50.

Всѣ машины, которыя мы до сихъ поръ разсматривали, могутъ быть приведены къ теоріи рычага; но наклонная плоскость основана на другихъ началахъ. Наклонная плоскость есть поверхность, которой вертикальный разрѣзъ представляется линіею AB (фиг. 54); она наклонена къ горизонту CB подъ угломъ ABC. На эту плоскость положимъ шаръ K; отъ дѣйствія тяжести онъ будетъ катиться внизъ вдоль AB; теперь спрашивается, какою силою въ направленіи KF, параллельномъ направленію наклонной плоскости, должно удержать шаръ, чтобъ онъ не катился внизъ, а оставался въ равновѣсіи?

Пусть линія KG представляетъ силу тяжести, отъ которой шаръ стремится упасть въ отвѣсномъ направленіи. KG можно разложить на двѣ силы, изъ которыхъ одна KM дѣйствуетъ параллельно направленію наклонной плоскости AB, другая KN перпендикулярно къ этой же плоскости. Послѣдняя уничтожится сопротивленіемъ плоскости; для удержанія же силы KM въ равновѣсіи очевидно противоположная ей сила должна быть одинаковой величины. Изъ равенства всѣхъ угловъ легко можно показать, что

треугольники MGK и ABC подобны, а слѣд. мы получаемъ пропорцію: KG : AB = KM : AC.

$$KG : KM = AB : AC.$$

Но AB называется длиною, AC высотою и CB основаніемъ наклонной плоскости и слѣд. мы получимъ слѣдующее предложеніе:

Для равновѣсія при наклонной плоскости, когда сила параллельна длинѣ плоскости, требуется, чтобы сила относилась къ тяжести или къ вѣсу тѣла, какъ относится высота наклонной плоскости къ ея длинѣ.

Изъ этого слѣдуетъ, что чѣмъ болѣе плоскость наклоняется къ горизонту, тѣмъ меньше должна быть сила; наконецъ, если наклонная плоскость будетъ горизонтальна, то высота ея будетъ о; слѣд. въ этомъ случаѣ для равновѣсія ни какой не нужно силы, что впрочемъ и безъ того ясно.

Теперь мы разсмотримъ второй случай равновѣсія на наклонной плоскости, именно когда сила дѣйствуетъ въ горизонтальномъ направленіи KF (фиг. 55) или параллельно основанію. Въ этомъ случаѣ мы разложимъ силу тяжести, опять на двѣ силы, изъ которыхъ одна KN перпендикулярна къ AB, другая противоположна силѣ KR и слѣд. параллельна основанію CB. Первая опять уничтожится сопротивленіемъ наклонной плоскости, другой KM должна быть равна сила KF и дѣйствовать въ противоположномъ направленіи, дабы произвесть равновѣсіе. Изъ подобія треугольниковъ ABC и MGK мы имѣемъ: KM : AC = KG : BC

$$KM : KG = AC : BC$$

т. е. *сила относится къ тяжести, какъ высота наклонной плоскости къ основанію.* Слѣд. въ этомъ направленіи сила должна быть больше, нежели въ первомъ случаѣ, въ которомъ она дѣйствуетъ параллельно длинѣ наклонной плоскости.

О клинѣ.

§ 51.

Самый простой примѣръ приложенія наклонной плоскости мы видимъ въ клинѣ, который употребляется для раскалыванія твердыхъ тѣлъ. Пусть MN (фиг. 56) будетъ твердая масса, напримѣръ деревянное полѣно: CBA клинъ, который отъ удара, сообщеннаго въ CB, долженъ входить въ полѣно, для того чтобы расколоть его. Очевидно, что частицы лежащія подлѣ клина, напримѣръ частицы F и G, при ударѣ должны двигаться по наклоннымъ поверхностямъ клина. Если проведемъ линію AK, такъ чтобъ уголъ CAB былъ раздѣленъ на двѣ равныя части, то каждая половина клина будетъ представлять наклонную плоскость; сила дѣйствуетъ въ направленіи основной линіи KA; на мѣсто тяжести здѣсь дѣйствуетъ сила упругости, съ которою частицы F и G дерева стремятся опять сблизиться; она дѣйствуетъ точно также, какъ въ прежнемъ параграфѣ тяжесть, перпендикулярно къ основанію и слѣд. мы получимъ:

Сила: сопрот. = CK : KA для сопротивл. частицъ F

Сила: сопрот = BK : KA.......................G

Слѣд. вся сила: сопрот. = CB : KA т. е. какъ толщина клина относится къ его длинѣ. Итакъ если клинъ очень остръ, то достаточно малой силы, чтобъ расколоть полѣно.

О винтѣ.

§ 52.

Второе и безъ сомнѣнія важнѣйшее приложеніе наклонной плоскости мы имѣемъ въ винтѣ.

Представимъ себѣ, что наклонная плоскость ABC (фиг. 57) намотана на цилиндръ MN, котораго окружность совершенно равна основанію CB плоскости; тогда длина AB плоскости будетъ представлять винтовую линію *adb*. Если обернемъ еще нѣсколько наклонныхъ плоскостей около цилиндра и представимъ себѣ, что вдоль линіи, получаемой отъ этого, вырѣзанъ жолобокъ на цилиндрѣ, то получимъ *винтъ*; каждая отдѣльно обвитая около цилиндра наклонная плоскость представляетъ *витокъ* (spire) а высота *ab* *ширину витка*; если представимъ себѣ, что на внутреннихъ стѣнкахъ пустой трубки, которой діаметръ равенъ діаметру цилиндра, наклонная плоскость лежитъ точно также, какъ на цилиндрѣ и что вдоль улиткообразной линіи, произшедшей отъ этого, вырѣзаны возвышенія, то мы получимъ *гайку*. Очевидно, что посредствомъ обращенія мы можемъ заставить винтъ входить въ гайку и одну наклонную плоскость двигаться по другой. Пусть напр. KL (фиг. 58) представляетъ гайку, MN винтъ, который посредствомъ головки AB обращается въ неподвижной гайкѣ; на концѣ M лежитъ тяжесть Q и поднимается вверхъ отъ обращенія винта, который приводится въ движеніе какою нибудь силою, дѣйствующею на его головку; спрашивается: какъ велика должна быть сила для того, чтобъ она могла уравновѣсить тяжесть Q?

Если не теряемъ изъ виду произхожденія винтовой линіи, то очевидно, что на плоскости, намотанной на цилиндръ, тяжесть дѣйствуетъ параллельно высотѣ плоскости, сила параллельно основанію, а движеніе происходитъ по направленію длины плоскости. Если представимъ себѣ сначала, что сила, отъ которой обращается винтъ, дѣйствуетъ не на головку его, но на окружность самаго вин-

та, то, основываясь на второмъ случаѣ для наклонной плоскости, мы получимъ:

Сила : Тяжести = Высота: основанію наклоной т. е.

Сила : Тяжести = ширина витка: къ окружности винта.

Итакъ, чѣмъ меньше ширина витка, тѣмъ большую тяжесть можно поднять одною и тоюже силою.

Если сила не дѣйствуетъ непосредственно на окружность винта, какъ этого обыкновенно и не бываетъ, но, какъ прежде предполагали, на головку винта т. е. на кругъ бо́льшаго діаметра, то мы имѣемъ случай ворота; и мы выиграемъ въ силѣ не только отъ дѣйствія винта но и ворота, именно въ сложной пропорціи ширины витка къ окружности винта, помноженной на отношеніе діаметра винта къ діаметру головки.

Если напр. ширина витка будетъ 0,1 дюйма, діаметръ его 0,5 дюйма, то окружность его будетъ 1,6 дюйма, слѣд. сила будетъ $\frac{1}{16}$ тяжести; если же сверхъ того она дѣйствуетъ на головку, имѣющую въ окружности 1,5 дюйма, которая слѣд. будетъ въ 3 раза больше окружности винта, то сила должна быть только $\frac{1}{48}$ тяжести.

И здѣсь подтверждается законъ выше замѣчаемый, что мы теряемъ въ скорости то, что выигрываемъ въ силѣ; ибо въ нашемъ послѣднемъ примѣрѣ, когда сила дѣйствуетъ на окружность самаго винта, то сила описываетъ кругъ въ 1,6 дюйма, между тѣмъ какъ тяжесть поднимается только на 0,1 дюйма и слѣд. скорость движенія тяжести въ 16 разъ меньше скорости движенія силы. Но кромѣ того если сила дѣйствуетъ на головку, которой діаметръ въ 3 раза больше діаметра винта, то сила должна двигаться въ 48 разъ скорѣе, нежели тяжесть.

§ 53.

На этомъ то замедленномъ движенiи и основывается одно изъ главнѣйшихъ употребленiй винта; въ такомъ случаѣ онъ называется *микрометрическимъ винтомъ.* Употребленiе микрометрическаго винта весьма разнообразно; чтобы показать примѣръ, въ которомъ видна существенная польза его, мы обратимъ наше вниманiе на употребленiе его въ дѣлительныхъ машинахъ и изберемъ для сего преимущественно прямолинейное дѣленiе. Цѣль этого дѣйствiя состоитъ въ томъ, чтобъ приготовить маштабъ, котораго бы части были совершенно равны и имѣли точную требуемую длину, напр. русскую линiю, или миллиметръ, или какую угодно, но только извѣстную длину. Такъ какъ машины этого рода должны не только отмѣривать равныя части, но еще отмѣренныя нарѣзать на маштабѣ, то онѣ состоятъ изъ двухъ главныхъ механизмовъ,—изъ отмѣряющаго длину, и изъ другаго, проводящаго черты для означенiя отмѣренной длины. Такъ какъ послѣднiй механизмъ, если посредствомъ его требуется съ точностiю и съ удобностiю достигнуть желаемой цѣли, довольно сложенъ и мы хотимъ здѣсь преимущественно обратить вниманiе на употребленiе винта, который только въ первомъ механизмѣ составляетъ существенную часть, то мы упростимъ задачу, предполагая, что не требуется нарѣзывать линiи, но только карандашемъ ставить точки въ равномъ разстоянiи другъ отъ друга. Этого мы можемъ достигнуть съ точностiю употребляя механизмъ, который переднею частью представленъ въ A, а со стороны въ B (фиг. 59) Въ обѣихъ фигурахъ одинаковыми буквами означены однѣ и тѣже части. PQP′Q′ представляетъ станокъ, на которомъ сверху находится доска CD, могущая скользить по металлическимъ линейкамъ R и R′ Къ доскѣ CD прикрѣплена металлическая часть *mn*, въ которую вдѣлана гайка. Сквозь гайку проходитъ тонкiй микрометрическiй винтъ BA, котораго головка имѣетъ въ A оботводъ; окружность его раздѣлена на равныя части напр. на 360°. Валикъ винта обращается своими цилиндрическими концами B и A въ двухъ цилиндрическихъ кольцахъ, которыхъ дiаметръ равенъ дiаметру концевъ. Слѣдовательно здѣсь валикъ неподвиженъ, но обращается около своей оси, между тѣмъ, какъ гайка *mn*, а съ нею и доска CD, при обращенiи винта подвигается впередъ именно на ширину витка, когда винтъ сдѣлаетъ только одинъ оборотъ; если винтъ обращается только на одну четверть своей окружности, то гайка подвинется впередъ на $\frac{1}{4}$ ширины витка; если оборотъ винта будетъ сдѣланъ только на $\frac{1}{360}$ часть окружности т. е. только на одинъ градусъ раздѣленнаго круга, который обращается вмѣстѣ съ валикомъ винта, то гайка подвинется впередъ только на $\frac{1}{360}$ часть ширины витка, а съ нею вмѣстѣ и доска CD. Такимъ образомъ видно, что доску можно съ точностiю подвинуть впередъ на какую угодно малую величину, обращая головку винта на дѣленiя, которыя можно еще весьма удобно наблюдать. Чтобъ имѣть возможность съ точностiю обращать головку на извѣстное число градусовъ, для этаго на подставкѣ P укрѣплена стрѣлка *z*, которой конецъ загнутъ, какъ показано въ фигурѣ и почти касается дѣленiй круга. Теперь если предположимъ, что ширина витка равна напр. $\frac{1}{4}$ линiи, то цѣлой оборотъ круга головки подвинетъ доску впередъ на $\frac{1'''}{4}$; слѣд. оборотъ на 1^0 подвинетъ доску на $\frac{1}{4.360} = \frac{1}{1440}$, т. е. на такую ве-

личину, которую можно видѣть только посредствомъ сильнаго микроскопа. Если къ неподвижному станку PQ прикрѣплена мѣдная пружина LMK, въ которую къ концу K вдѣланъ заостренный карандашъ и если на доскѣ будетъ лежать маштабъ GF, который нужно раздѣлить, то придавляя пружину MK, такъ чтобъ заостренный конецъ карандаша касался маштаба, можно на немъ поставить точку. Если потомъ посредствомъ обращенія головки винта на 360° подвинемъ доску впередъ на $\frac{1}{4}$ линіи, и опять придавимъ карандашъ, то опять получимъ точку, которая отстоитъ отъ предъидущей на $\frac{1'''}{4}$ и если будемъ такимъ образомъ подвигать впередъ доску и при каждомъ обращеніи головки на 360° ставить точку на маштабѣ, то получимъ рядъ точекъ отстоящихъ одна отъ другой на $\frac{1'''}{4}$. Если хотимъ произвесть другое дѣленіе, напр. какую нибудь опредѣленную длину уже поставленную на маштабѣ раздѣлить на 100 равныхъ частей, то для этаго укрѣпляется маштабъ на доскѣ CD, и подвигается впередъ посредствомъ винта до тѣхъ поръ, пока одинъ изъ концевъ точки маштаба будетъ находиться подъ самымъ концемъ карандаша; потомъ снова станемъ обращать винтъ до тѣхъ поръ, пока и другой конецъ будетъ лежать подъ остріемъ карандаша и замѣчаемъ число нужныхъ для этаго полныхъ оборотовъ и частей ихъ, если онѣ есть, въ градусахъ круга головки винта. Напр. если число нужныхъ полныхъ оборотовъ будетъ $=$ 80 и еще 40°, которые нужно было сдѣлать для того, чтобъ маштабъ отъ одного конца раздѣляемой длины передвинулся до другаго, то нужно поступить слѣдующимъ образомъ: 80 полныхъ оборотовъ въ градусахъ круга составятъ $80 \times 360 =$

28800°, къ этому еще присоединимъ 40°. Слѣд. маштабъ подвинулся впередъ на 28840°.

Если нужно раздѣлить эту длину на 100 равныхъ частей, то каждая часть очевидно должна быть $= \frac{28840^\circ}{100} = 288^\circ, 4$; и такъ начиная съ однаго конца длины нужно обращать кругъ винтовой головки каждый разъ на 288°, 4 и потомъ придавить карандашъ, тогда получится требуемое дѣленіе.

Если нужно сдѣлать дѣленіе маштаба на металлѣ, то части обыкновенно означаются маленькими чертами и тогда вмѣсто карандаша употребляютъ другой приборъ, въ которомъ острый ножъ придавляется къ маштабу нужною силою и потомъ, въ направленіи перпендикулярномъ къ длинѣ маштаба, двигается на такое разстояніе, какое нужно для длины черты. Этотъ приборъ остается совершенно неподвижнымъ въ отношеніи къ движенію микрометрическаго винта. Кромѣ того придѣланъ къ нему особеннаго устройства механизмъ, служащій для того, чтобъ послѣ опредѣленнаго числа чертъ произвести черту длиннѣе прочихъ, какъ это обыкновенно требуется въ маштабахъ послѣ каждыхъ пяти и десяти частей; отъ этаго тотъ, кто дѣлаетъ дѣленія, не имѣетъ нужды считать черты; такъ что вся работа состоитъ въ поворачиваніи винта на извѣстные градусы и въ маломъ движеніи рычага, который соединенъ съ механизмомъ, назначеннымъ для движенія ножа.

Такимъ образомъ способъ раздѣленія доведенъ до величайшаго совершенства, которое очевидно зависитъ отъ точности винта.

§ 54.

Кромѣ прямолинейнаго раздѣленія требуется въ прак-

тикѣ еще раздѣленіе круговое, особенно для астрономическихъ инструментовъ; это раздѣленіе производится часто подобнымъ образомъ посредствомъ микрометрическаго винта, а иногда по другому началу посредствомъ микроскопа. При употребленіи перваго способа зубцы сдѣланные на кругѣ входятъ въ винтъ, какъ показано въ фигурѣ (фиг. 60) гдѣ A есть кругъ, который нужно поворачивать на весьма малыя равныя величины, а BC есть обращающійся винтъ; зубцы круга совершенно входятъ въ ширину витка; винтъ вертится около своей оси въ неподвижныхъ подставкахъ B и C и на одномъ концѣ своемъ имѣетъ раздѣленный кругъ CD. Легко видно, что при обращеніи винта зубцы круга будутъ подвигаться вдоль винтоваго валика и что слѣд. окружность круга при одномъ оборотѣ винта подвинется впередъ на ширину витка. Если прежде всего узнаемъ сколько разъ винтъ долженъ оборотиться для того, чтобъ кругъ сдѣлалъ полный оборотъ, то мы найдемъ, что винтъ долженъ совершить число оборотовъ равное $\frac{1}{360}$ этаго числа для того, чтобъ кругъ поворотился на 1^0; раздѣленный кругъ головки винтовой показываетъ дроби оборотовъ винта. Потомъ если на кругѣ укрѣпленъ неподвижный карандашъ или въ направленіи радіуса укрѣпленъ ножъ для проведенія чертъ, означающихъ дѣленія, то легко понять, какъ этимъ способомъ раздѣляютъ круги на какія угодно части.

Такое устройство, въ которомъ зубцы круга захватываются винтомъ, называется *безконечнымъ винтомъ* и употребляется не только при раздѣленіи круга, но и во многихъ другихъ случаяхъ, встрѣчающихся въ практикѣ.

Кромѣ машинъ, которыя мы описывали до сихъ поръ, есть еще много другихъ, но онѣ всегда суть соединенія э-

тихъ простыхъ машинъ; по этому ихъ легко можетъ понять тотъ, кто хорошо вникнулъ въ теорію сихъ послѣднихъ. Въ послѣдствіи мы будемъ имѣть случай показывать примѣры для этаго; а теперь мы приступимъ къ изложенію новой главы о твердыхъ тѣлахъ.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

О ДѢЙСТВІИ ВНУТРЕННИХЪ СИЛЪ НА ТВЕРДЫЯ ТѢЛА.

§ 55.

До сихъ поръ мы предполагали, что на твердыя тѣла дѣйствуютъ какія нибудь внѣшнія силы, какъ это имѣетъ мѣсто по большей части въ машинахъ. Но есть такія силы, какъ напр. тяжесть, бывшая уже предметомъ нашего разсматриванія, которыя, находясь въ частяхъ самыхъ тѣлъ, дѣйствуютъ на эти части. Слѣдствія этого дѣйствія весьма отличны отъ тѣхъ, которыя мы прежде разсматривали, потому что тѣло, приведенное въ движеніе какою нибудь внѣшнею силою, какъ скоро прекращается дѣйствіе ея, движется равномѣрно, если только другія силы не заставятъ его перемѣнить первоначальное движеніе или со всѣмъ не уничтожатъ его; но дѣйствіе внутреннихъ силъ продолжается и во время самаго движенія; и такъ тѣло, кромѣ равномѣрнаго движенія отъ дѣйствія силы оказаннаго въ прежнихъ моментахъ, будучи еще теперь подвержено всякое мгновеніе вліянію этой силы, получитъ движеніе не однообразное.

Изъ числа внутреннихъ силъ мы знаемъ только при-

тяженіе и отталкиваніе частицъ; послѣднее приписывается дѣйствію теплоты, по этому мы займемся здѣсь только притяженіемъ. Мы уже видѣли, что притяженіе оказываемое небесными тѣлами другъ на друга, называется *тяготѣніемъ*; притяженіе, производимое землею на тѣла, находящіяся на ней, *тяжестію*; притяженіе между двумя частицами, касающимися другъ друга, *сцѣпленіемъ*. Во всѣхъ этихъ случаяхъ дѣйствуетъ одна и таже сила, но она обнаруживается при различныхъ обстоятельствахъ и по этому требуетъ особенныхъ разсужденій въ этихъ трехъ отношеніяхъ.

О сцѣпленіи.

§ 56.

Если двѣ частицы касаются одна другой т. е. сближаются сколько возможно больше, то онѣ взаимно притягиваются. На этомъ основывается связь частицъ какого нибудь тѣла и отъ большей или меньшей силы притяженія въ отношеніи къ взаимному ихъ отталкиванію, производимому теплотою, зависитъ, какъ мы прежде видѣли, состояніе тѣла: твердое, жидкое и газообразное. Въ твердыхъ тѣлахъ притяженіе преобладаетъ надъ отталкиваніемъ. Природа показываетъ намъ, что частицы твердыхъ тѣлъ не съ одинаковою силою притягиваются со всѣхъ сторонъ, что легко можно себѣ представить допустивши, что малѣйшія частицы, изъ которыхъ состоятъ тѣла, имѣютъ не шарообразный видъ. Если напр. (фиг. 61) онѣ имѣютъ видъ цилиндровъ, какъ A, B и C, то центръ тяжести ихъ находится на срединѣ ихъ оси; слѣд. если онѣ приближаются одна къ другой, какъ B и A, то ихъ центры

тяжести будутъ лежать ближе одинъ къ другому, нежели въ положеніи A и C. Слѣд. B и A будутъ притягиваться сильнѣе, нежели C и A. Мы совершенно не знаемъ вида атомовъ тѣлъ, однако мы должны представлять себѣ, что они въ одномъ положеніи притягиваются сильнѣе, нежели въ другомъ.

На основаніи этого предположенія таковыя частицы, если только онѣ могутъ передвигаться съ мѣста на мѣсто, должны прилегать одна къ другой, такъ какъ требуетъ наибольшее притяженіе, и группа ихъ при переходѣ въ твердое состояніе должна принять правильный видъ, который остается однимъ и тѣмъ же для однихъ и тѣхъ же атомовъ, т. е. для тѣлъ одинаковыхъ по химическому составу, но вообще различенъ для различныхъ тѣлъ, которыя состоятъ изъ разновидныхъ атомовъ. Дабы видѣть дѣйствительно ли это имѣетъ мѣсто, растворимъ въ водѣ поваренную соль до насыщенія и потомъ поставимъ растворъ въ теплое мѣсто; извѣстно, что вода, находясь на свободномъ воздухѣ, мало по малу пропадаетъ или испаряется, между тѣмъ какъ соль остается въ сосудѣ. Итакъ мы прежде имѣли растворъ, въ которомъ частицы соли были въ жидкомъ состояніи и слѣд. свободно могли двигаться; а отъ испаренія воды онѣ переходятъ въ твердое состояніе и мы въ самомъ дѣлѣ замѣтимъ, что оставшіяся частицы поваренной соли приняли совершенно правильную форму, а именно состоятъ изъ явственныхъ правильныхъ кубовъ. Твердое тѣло, имѣющее отъ природы правильный видъ такого рода, называется *кристалломъ*. Если бы вмѣсто раствора поваренной соли мы взяли растворъ селитры, то кристаллы не были бы кубическіе, но имѣли бы видъ призматическихъ столбиковъ. Изъ этого видимъ, что кристаллической видъ поваренной соли есть

кубъ, а селитры призма. Итакъ кристаллизація даетъ намъ право, выше приведенное предположеніе касательно природы малѣйшихъ частицъ матеріи, принять за правдоподобное, т. е. допустить, что онѣ притягиваются съ различною силою на различныхъ сторонахъ.

Видъ кристалловъ весьма многоразличенъ; однако всѣ они могутъ быть приведены къ простымъ видамъ. Это производится слѣдующимъ образомъ: если станемъ прикладывать острый ножъ къ поверхности кристалла въ различныхъ направленіяхъ и потомъ ударять по ножу молоткомъ, то найдемъ нѣкоторыя направленія, въ которыхъ части кристалла могутъ откалываться такъ, что поверхность излома остается совершенно гладкою; если такимъ образомъ станемъ продолжать откалывать части кристалла, то наконецъ дойдемъ до простыхъ формъ, которыя называются *ядромъ* кристалла.—Всѣ твердыя неорганическія вещества могутъ получать видъ кристалла, когда онѣ въ спокойномъ состояніи переходятъ изъ жидкаго состоянія въ твердое, и этотъ видъ составляетъ одинъ изъ главныхъ отличительныхъ признаковъ минераловъ. Для образованія хорошихъ кристалловъ нужно, что бы тѣла мало по малу переходили изъ жидкаго состоянія въ твердое и что бы при этомъ растворъ находился въ совершенно невозмущаемомъ состояніи; только при этихъ условіяхъ частицы могутъ притти въ такое положеніе, которое потребно для наибольшаго притяженія.

§ 57.

Отъ силы сцѣпленія зависитъ твердость тѣлъ, и потому сила сцѣпленія опредѣляется твердостію. Такъ какъ твердость веществъ въ практикѣ составляетъ весьма важный предметъ, то давно уже старались опредѣлить ее

посредствомъ точнѣйшихъ опытовъ. Здѣсь различаютъ твердость тѣлъ абсолютную и относительную.

Абсолютную твердость тѣлъ опредѣлимъ тогда, когда найдемъ, отъ какой тяжести какое нибудь тѣло разрывается. Изъ вещества, подвергаемаго опыту дѣлаютъ пруты опредѣленнаго поперечнаго разрѣза, ставятъ ихъ перпендикулярно, прикрѣпляютъ верхній конецъ, а къ другому привязываютъ тяжести большія и большія, пока наконецъ прутъ разорвется. Легко можно видѣть, что необходимая для этого тяжесть будетъ пропорціональна поперечному разрѣзу; ибо если разрываются два прута, изъ которыхъ одинъ имѣетъ въ поперечномъ разрѣзѣ 1 квадратный дюймъ, а другой 2 квадратныхъ дюйма, то въ первомъ случаѣ число отдѣляющихся другъ отъ друга частицъ, соединенныхъ сцѣпленіемъ, вдвое меньше числа частицъ отдѣляющихся во второмъ случаѣ; слѣд. сила въ первомъ случаѣ будетъ въ два раза меньше силы употребляемой во второмъ случаѣ. Но законъ этотъ въ самыхъ опытахъ подтверждается только приблизительно, по той причинѣ, что пруты прежде разрыванія вытягиваются и дѣлаются тоньше въ томъ мѣстѣ, гдѣ они разрываются. По этому для вычисленія силы сцѣпленія нужно бы было взять въ разсужденіе разрѣзъ, который пруты имѣютъ въ тотъ моментъ и въ томъ мѣстѣ, гдѣ они разрываются.

Что бы сравнить абсолютную твердость различныхъ тѣлъ, нужно употреблять пруты, имѣющіе одинаковые поперечные разрѣзы. Такимъ образомъ нашли, что желѣзный призматическій прутъ, имѣющій въ разрѣзѣ 1 квадратный дюймъ отъ тяжести вѣсомъ въ 18200 фунтовъ дѣлается длиннѣе на $\frac{1}{1400}$ своей длины, а отъ 60000 разрывается;

напротивъ такой же дубовый прутъ разрывается отъ 26500, а сосновый отъ 18500.

§ 58.

Относительная твердость опредѣляется тогда, когда какой нибудь прутъ ломается, а не разрывается. Напр. на концы A и B (фиг. 62) прута AB, подпертаго въ C, станемъ класть какія нибудь тяжести до тѣхъ поръ, пока прутъ не переломится; сопротивленіе, которое противополагается прутомъ переломленію, называется относительною твердостію. При преломленіи частицы поперечнаго разрѣза DC отдѣляются одна отъ другой и для этого должно побѣдить сцѣпленіе ихъ. Обратимъ вниманіе на верхнюю точку D поперечнаго разрѣза, въ которой происходитъ изломъ. Если двѣ частицы прута, лежащія одна подлѣ другой въ D разрываются, то при этомъ одна половина DB будетъ обращаться около C, равно какъ и другая DA, но въ противную сторону. Слѣд. ломающая сила дѣйствуетъ на равныя плеча рычага BC и AC, а сопротивленіе, оказываемое этой силѣ сцѣпленіемъ, дѣйствуетъ на плечо рычага DC. Изъ этого слѣдуетъ во первыхъ, что если при тойже толщинѣ прутъ будетъ вдвое длиннѣе, то и дѣйствіе силы, производимое на плечо рычага, сдѣлается вдвое больше, слѣдовательно и сцѣпленіе окажетъ сопротивленіе этой силѣ вдвое меньшее, нежели прежде. Итакъ *относительная твердость обратно пропорціональна длинѣ прута или бревна.*

Если длина прута не измѣняется, но ширина его дѣлается вдвое больше, то очевидно, что въ этомъ случаѣ какъ будто два равные прута прежней ширины лежатъ одинъ возлѣ другаго; такъ какъ число частицъ, которыя

должно разорвать, удвоится, то и сила, употребляемая для излома должна быть удвоена; изъ этого слѣдуетъ законъ: *относительная твердость пропорціональна ширинѣ прута.*

Наконецъ, если оставимъ длину и ширину бревна туже, а удвоимъ высоту его, то во первыхъ въ поперечномъ разрѣзѣ CDD′, (фиг. 63) число частицъ, которыхъ сцѣпленіе нужно преодолѣть, удвоится, слѣдовательно и сила уже по этому должна быть удвоена. Но кромѣ этого сцѣпленіе каждой частицы въ верхней половинѣ DD′ бревна дѣйствуетъ на плечо рычага, которое длиннѣе плеча, на которое дѣйствуетъ сцѣпленіе частицъ нижней половины; на пр. верхняя частица D′ дѣйствуетъ на плечо D′C; верхняя же частица D нижней половины дѣйствуетъ на плечо DC, которое вдвое короче. По этому, если напр. на высотѣ DC находится 100 частицъ, равно отстоящихъ одна отъ другой, которыхъ сцѣпленіе должно преодолѣть, и если предположимъ на время, что при двойной высотѣ D′C также находится только 100 частицъ, то изъ этихъ 100 частицъ напр, десятая будетъ находиться вдвое далѣе отъ C, нежели десятая на высотѣ DC, и по одной этой причинѣ тоже число частицъ бревна на двойной высотѣ окажетъ при изломѣ сопротивленіе вдвое большее. Но такъ какъ кромѣ того сопротивленіе удвоилось и отъ того, что число частицъ сдѣлалось вдвое больше, то оно вообще сдѣлалось вчетверо больше первоначальнаго. Если бы высота бревна была утроена, то подобными разсужденіями мы вывели бы, что сопротивленіе сдѣлалось бы въ девятеро больше и т. д.; слѣд. мы имѣемъ правило: *относительная твердость пропорціональна квадрату высоты прута или бревна.*

Итакъ, если мы изъ опытовъ знаемъ относительную твердость P (выраженную въ фунтахъ) куба AB, котораго сторона равна одному футу (фиг. 64) и который

подпертъ въ срединѣ C, то относительная твердость P' бревна, котораго длина есть l, высота h, ширина d, (всѣ эти величины выражены въ футахъ), будетъ:

$$P' = P.\frac{dh^2}{l} \text{ фунтовъ.}$$

Если бревно подперто въ точкахъ A и B (фиг. 65) и въ срединѣ C дѣйствуетъ тяжесть, то очевидно, что это будетъ относиться къ тому же случаю, который мы теперь разсмотрѣли, только направленіе всѣхъ силъ сдѣлалось совершенно противоположнымъ; ибо вмѣсто точекъ опоры въ A и B мы могли бы представить себѣ двѣ силы равныя давленію, производимому на нихъ, а на мѣсто силы въ C точку опоры. Слѣд. и въ этомъ случаѣ имѣютъ мѣсто наши три правила и формула, въ которой всѣ они заключаются. Изъ этого видно, что если мы имѣемъ четыреугольное (фиг. 66) бревно, котораго поперечный разрѣзъ ABCD не есть квадратъ, то гораздо выгоднѣе для твердости класть его на опоры меньшею стороною CD, такъ чтобы большая сторона AC сдѣлалась высотою. Если напр. CD или $d = 1$, $h = 2$ фута, то наша формула для этого положенія, даетъ

$$P' = \frac{P.1.4}{l} = 4\,\frac{P}{l}.$$

Если же положимъ его на оборотъ такъ, чтобы было $AC = d = 2$ и $CD = h = 1$, то получимъ:

$$P' = P.\,\frac{2.1}{l} = 2\,\frac{P}{l}.$$

Слѣд. въ послѣднемъ случаѣ относительная твердость была бы вдвое меньше, нежели въ первомъ. Изъ этого ясно видно, сколько выигрывается силы, когда доска, употребляемая для перенесенія тяжестей, кладется ребромъ, т. е. такъ, что поперечный разрѣзъ ея опирается на узкой сторонѣ, или что ширина доски дѣлается высотою ея.

Примѣняя высшее исчисленіе къ этой формулѣ можно рѣшать важныя задачи практическія. Напр. изъ цилиндрическаго бревна, котораго разрѣзъ представляетъ (фиг. 67) ABGCDF, требуется сдѣлать четыреугольный брусъ ABCD для поддержанія большихъ тяжестей, напр. для поддержанія потолка компаты; какъ должно это сдѣлать, чтобы брусъ поддерживалъ наибольшую тяжесть? Легко видѣть можно, что для этого высота AC должна быть больше ширины DC; но если уменьшать DC болѣе и болѣе, то черезъ это, какъ видно изъ фигуры, мало выигрывается въ высотѣ а много теряется въ ширинѣ; слѣд. наибольшее дѣйствіе будетъ при опредѣленной толщинѣ DC. Вычисленіе показываетъ, что если принять діаметръ бревна за единицу, то ширина DC должна быть равна 0,58, а высота AC = 0,82, чтобы дать наибольшую силу бревну.

§ 59.

Если сцѣпленіе есть причина твердости тѣлъ, то можно бы было спросить, почему, когда какое нибудь тѣло разломится и потомъ мы опять сложимъ вмѣстѣ поверхности излома, онѣ не такъ крѣпко сцѣпляются, какъ прежде, между тѣмъ какъ сила сцѣпленія частицъ всегда должна дѣйствовать; или почему двѣ совершенно плоскія полированныя стеклянныя плитки, положенныя одна на другую не держатся такъ крѣпко, какъ будто бы онѣ составляли одно тѣло. Но при не большомъ размышленіи легко можно уразумѣть причину этого. Когда твердое тѣло ломается, то предъ самымъ изломомъ частицы, находящіяся на

мѣстѣ излома, насильственно отрываются одна отъ другой; при этомъ онѣ болѣе или менѣе перемѣняютъ свое относительное положеніе, такъ что при соединеніи поверхностей излома всѣ частицы, прежде касавшіяся одна другой, ни какъ не могутъ притти въ первоначальное соприкосновеніе, но только нѣкоторыя, вообще можно принять три болѣе выдающіяся; слѣд. сцѣпленіе съ полною силою будетъ дѣйствовать только въ этихъ трехъ частицахъ, между тѣмъ какъ остальныя или совсѣмъ не будутъ дѣйствовать другъ на друга или по крайней мѣрѣ весьма слабо по причинѣ большаго отдаленія одной отъ другой. Тоже самое имѣетъ мѣсто и при прикосновеніи стеклянныхъ поверхностей даже весьма тщательно отшлифованныхъ. Поверхности, которыя кажутся совершенно равными, въ сравненіи съ тонкостію атомовъ, представляются шероховатыми поверхностями; это мы даже видимъ, если станемъ разсматривать такую поверхность въ сильный увеличивающій микроскопъ. Итакъ совершенно будутъ соприкасаться только три точки поверхности, другія же будутъ находиться въ замѣтномъ, хотя весьма маломъ другъ отъ друга разстояніи. Эти разстоянія будутъ тѣмъ меньше, чѣмъ лучше и ровнѣе шлифованы поверхности. Но мы въ самомъ дѣлѣ находимъ, что такія поверхности пристаютъ одна къ другой съ значительною силою и по этому должны заключить, что не только три точки пришедшія въ надлежащее соприкосновеніе притягиваются силою сцѣпленія, но также и остальныя частицы, которыя хотя не находятся совершенно въ первоначальномъ соприкосновеніи, однако весьма близко лежатъ другъ отъ друга; только съ увеличеніемъ разстоянія сила сцѣпленія быстро уменьшается.

Если отторгнутыя одна отъ другой половины A и B, или двѣ плоскія поверхности, сложимъ вмѣстѣ и между ними положимъ слой какой нибудь жидкости, то она въ слѣдствіе удобоподвижности частицъ войдетъ въ промежутки находящіеся между тѣлами, и если жидкость такого свойства, что она послѣ нѣкотораго времени твердѣетъ, то мы получимъ твердый слой, который совершенно вмѣщенъ на обѣихъ сторонахъ въ неровности обоихъ тѣлъ A и B, и слѣд. сцѣпленіе между слоемъ и тѣломъ A, также между слоемъ и тѣломъ B начнетъ дѣйствовать во всей силѣ, а посредствомъ этого тѣла A и B крѣпко будутъ удерживаться другъ другомъ. На этомъ основано спаиваніе металловъ, клееніе, подведеніе зеркальныхъ стеколъ и т. д. Напр. при спаиваніи тонкой слой легкоплавкаго металла впускается между двумя металлами, плавящимися при гораздо высшей температурѣ; когда металлы охладятся въ этомъ положеніи, то спаивающій слой дѣлается твердымъ и спаиваемые металлы крѣпко сцѣпляются. Такимъ образомъ спаиваютъ латунь оловомъ, серебро такъ называемымъ паяльнымъ серебромъ т. е. смѣсью, состоящею изъ серебра и мѣди и пр. Какой припой брать, это зависитъ отъ температуры, которой хотятъ подвергнуть спаиваемый сосудъ; если она выше температуры плавленія олова, то оловянной припой разошелся бы и слѣд. нужно взять припой болѣе трудноплавкой.

Объ упругости

§ 60.

Сцѣпленіе дѣйствуетъ, какъ мы видѣли, не только при извѣстномъ разстояніи тѣлъ, называемымъ соприкосновеніемъ, но также и въ предѣлахъ не много большихъ или меньшихъ. По этой причинѣ мы можемъ нѣсколько измѣ-

нить разстояніе частицъ, не разрушая взаимной ихъ связи. Мы можемъ по этому скрутить или погнуть какое нибудь тѣло и можемъ сдавить его нѣсколько; а это доказываетъ, что соприкосновеніе не есть самое меньшее разстояніе частицъ другъ отъ друга, но только, по принятому нами въ началѣ понятію о составѣ тѣлъ, есть такое отдаленіе ихъ, при которомъ притяженіе и отталкиваніе частицъ или атомовъ имѣютъ одинаковую силу. Здѣсь оказывается различіе въ явленіяхъ тѣлъ твердыхъ; нѣкоторыя изъ нихъ послѣ такого растягиванія, сгибанія, сдавливанія опять сами собою принимаютъ первоначальный свой видъ, какъ скоро перестаютъ дѣйствовать на нихъ силы,—другія же остаются въ томъ положеніи, въ какое онѣ приведены силами. Примѣромъ перваго разряда тѣлъ служитъ стальная пружина, примѣромъ втораго свинцовый прутъ; первыя называются *упругими*, послѣднія *неупругими*.

Упругость въ различныхъ тѣлахъ имѣетъ различныя степени; между стальною пружиною и свинцовымъ прутомъ заключаются остальныя тѣла, напр. дерево, серебро, латунь, которыхъ упругость бываетъ весьма различна и нѣтъ ни одного тѣла, которое бы было совершенно неупруго, даже и самый свинецъ. Напротивъ посредствомъ опытовъ найдено, что для каждаго тѣла существуютъ извѣстные предѣлы перемѣщенія частицъ, въ которыхъ оно имѣетъ совершенную упругость; но внѣ этихъ предѣловъ частицы не возвращаются опять къ первоначальному положенію. Для такъ называемыхъ упругихъ тѣлъ эти предѣлы больше, а для тѣлъ неупругихъ меньше, въ этомъ и состоитъ ихъ отличіе. — Если напр. возмемъ стальную пружину и мѣдную пластинку одинаковаго размѣра и укрѣпимъ ихъ однимъ концемъ въ какой нибудь неизмѣняемой точкѣ опоры A (фиг. 68), и потомъ взявши за конецъ B погнемъ ихъ въ одну сторону, то пластинки

придутъ въ положеніе AB′. Потомъ если пустимъ концы ихъ, то онѣ отскакиваютъ и приходятъ опять въ первоначальное положеніе, если только при сгибаніи мы не перешли через предѣлы упругости; если станемъ сгибать ихъ болѣе и болѣе, то мы дойдемъ до того что, хотя стальная пружина все еще будетъ отскакивать назадъ, но мѣдная уже не со всѣмъ приходитъ въ первоначальное положеніе AB, но останавливается въ положеніи AB″; тогда сгибаніе перешло черезъ предѣлъ упругости мѣди. Если будемъ болѣе и болѣе сгибать стальную пружину, то наконецъ дойдемъ и до предѣловъ упругости стали и она не совершенно принимаетъ первоначальный видъ. При такихъ опытахъ оказывается еще другая разность между *упругими* тѣлами, состоящая въ томъ, что нѣкоторыя изъ нихъ ломаются прежде, нежели достигнутъ до предѣловъ упругости, напр. стекло, крѣпко закаленная сталь и проч. онѣ называются *хрупкими тѣлами*.

Такъ какъ эти свойства зависятъ отъ непосредственнаго дѣйствія другъ на друга малѣйшихъ матеріальныхъ частицъ, то онѣ не подлежатъ непосредственному нашему наблюденію и мы до сихъ поръ ничего незнаемъ удовлетворительнаго объ истинной причинѣ ихъ. Мы можемъ разсматривать только внѣшнія явленія или результаты этихъ причинъ, которыя сами принадлежатъ къ загадочнымъ предметамъ Физики. Такъ напр. мы можемъ измѣнить упругость тѣлъ, нисколько не нарушая химическаго состава ихъ. Лучшій примѣръ для этого представляетъ сталь. Сталь образуется изъ желѣза черезъ соединеніе его съ небольшимъ количествомъ углерода. Если накалить сталь и потомъ дать ей медленно охладиться на воздухѣ, то она въ отношеніи къ упругости не будетъ отличаться отъ мягкаго желѣза. Если же раскаленную сталь мгновенно охла-

димъ, погружая ее въ холодную воду, то она получитъ совсѣмъ другія свойства; прежде ее можно было обработывать и сгибать, какъ мягкое желѣзо, а теперь она дѣлается хрупкою и такою твердою, что даже чертитъ стекло, и никакая пила на нее не дѣйствуетъ. Такая сталь называется *закаленною*. Въ томъ и другомъ состояніи она не годится для обыкновеннаго ея употребленія, какъ напр. на долота, ножи, ножницы и т. д.; для этого нужно привести ее въ среднее состояніе, въ которомъ она хотя не со всѣмъ тверда, но за то не хрупка, и можетъ гнуться и по причинѣ упругости опять принимать первоначальный видъ. До этого достигаютъ вторичнымъ дѣйствіемъ, называемымъ *отвариваніемъ*. Оно состоитъ въ томъ, что сильно закаленную сталь на желѣзномъ листѣ нагрѣваютъ и даютъ ей медленно охладиться. Чѣмъ выше температура вторичнаго нагрѣванія, тѣмъ мягче опять дѣлается сталь, и если это нагрѣваніе доводится до каленія, то сталь опять дѣлается также мягкою, какъ желѣзо. При этомъ вторичномъ нагрѣваніи сталь показываетъ замѣчательныя явленія, состоящія въ томъ, что поверхность ея принимаетъ различные цвѣты, помѣрѣ того какъ нагрѣваніе бываетъ сильно или слабо. Сперва она принимаетъ желтый соломенный цвѣтъ, потомъ по порядку золотожелтый, пурпуровый, синій, фіолетовый, наконецъ краснокалильный; этими цвѣтами пользуются при опредѣленіи твердости стали, и изъ предъидущаго видно, что послѣ совершенно закаленной стали самая твердая есть та, которая получаетъ соломенножелтый цвѣтъ; изъ нее дѣлаются инструменты, употребляемые при металлическихъ работахъ. Меньшей твердости есть та сталь, которая принимаетъ цвѣтъ золотожелтый, пурпуровый и еще мягче синій; эта послѣдняя обыкновенно употребляется для пружинъ. На этомъ свой-

ствѣ закаливанія и отвариванія стали основывается многообразное употребленіе ея; она обдѣлывается тогда, когда она еще совершенно мягка и закаливается только тогда, когда она уже получила желаемый видъ.

§ 61.

На упругости стали основываются многіе приборы, изъ которыхъ мы подробнѣе разсмотримъ *ресорные вѣсы* или *динамометръ*. Динамометръ состоитъ изъ эллиптической стальной пружины CD (фиг. 69), которая должна имѣть какъ можно большую упругость. Къ ней прикрѣплены два кольца въ A и B. Теперь если возмемся за A и B, и станемъ тянуть въ противоположныя стороны, то эти кольца будутъ тѣмъ болѣе отдаляться другъ отъ друга или пружина будетъ тѣмъ круглѣе, чѣмъ болѣе будетъ сила, употребляемая для растягиванія. Если дадимъ прибору такое устройство, въ которомъ отдаленіе другъ отъ друга колецъ A и B точно показывалось бы градусами, то градусы будутъ служить мѣрою упругости. Это устройство въ нѣкоторыхъ динамометрахъ состоитъ изъ блока F крѣпко соединеннаго съ частію A и изъ штифта KL, который прикрѣпленъ къ нижней половинѣ B при точкѣ K и посредствомъ упругости сильно трется о блокъ F. Если A отдаляется отъ B то, отъ тренія объ штифтъ KL блокъ вертится, а съ нимъ вмѣстѣ и прикрѣпленная къ нему длинная стрѣлка FG, которой конецъ двигается по градусной дугѣ, раздѣленной такъ, что каждый градусъ соотвѣтствуетъ какой нибудь единицѣ силы тянущей, напр. одному фунту. Самое дѣленіе дѣлается посредствомъ опытовъ; для этого динамометръ привѣшивается посредствомъ кольца A, а къ B прицѣпляютъ постепенно 1, 2, 3 . . . фунта и

при каждомъ разѣ замѣчаютъ положеніе стрѣлки. Этотъ приборъ имѣетъ разнообразныя устройства, но всегда основанныя на однѣхъ и тѣхъ же началахъ; онъ служитъ для измѣренія силъ. Если напр. прикрѣпить динамометръ кольцомъ А къ оси коляски и къ В впрячь лошадь, то динамометръ своею стрѣлкою покажетъ силу, употребленную лошадью. Динамометръ употребляется и для взвѣшиванія, только въ тѣхъ случаяхъ, въ которыхъ не требуется большой точности.

О дѣйствіи тяжести на движеніе твердыхъ тѣлъ.

Свободное паденіе тѣлъ.

§ 62.

Притяженіе, оказываемое землею на тѣла, находящіяся на ея поверхности, называется *тяжестію*, какъ мы уже замѣтили прежде. Мы уже видѣли, какъ тяжесть дѣйствуетъ на тѣла, имѣющія подпору слѣд. находящіяся въ покоѣ и какимъ образомъ покой или движеніе тѣла совершенно зависитъ отъ положенія точки опоры относительно центра тяжести. Но что бываетъ когда тѣло не имѣетъ подпоры? Очевидно, что оно, слѣдуя притягательной силѣ земли, упадетъ къ той точкѣ, въ которой всю тяжесть земли можно представить какъ бы сосредоточенною; эта точка, какъ мы уже видѣли, есть центръ земли. Итакъ всякое тѣло не подпертое падаетъ отвѣсно къ центру земли; ежедневный опытъ подтверждаетъ эту истину. Теперь раждается вопросъ: по какому закону свободно падающее тѣло приближается къ землѣ? Если напр. оно проходитъ въ одну секунду извѣстное пространство, напр. 16 футовъ,

то сколько пройдетъ оно въ 2, 3 и т. д. секунды? Легко можно видѣть, что движеніе свободно падающаго тѣла совершенно будетъ отлично отъ равномѣрнаго движенія, о которомъ мы выше говорили, и въ которомъ проходимыя пространства пропорціональны временамъ. Если напр. толчкомъ руки покатимъ шаръ по плоскости, то мы знаемъ, что если для движенія нѣтъ никакихъ препятствій (какъ напр. неровность плоскости, сопротивленіе воздуха), то онъ по силѣ недѣятельности всегда будетъ катиться впередъ съ одинаковою скоростію, такъ что если онъ проходитъ 5 футовъ въ 1 секунду, то въ 100 секундъ пройдетъ 500, въ 1000 секундъ 5000 футовъ и т. д.; если же тѣло падаетъ, то въ немъ есть внутренняя сила, которая влечетъ его къ землѣ, и она дѣйствуетъ на него не только въ началѣ движенія, какъ въ предыдущемъ примѣрѣ дѣйствовала рука на катящійся шаръ, но оказываетъ свое вліяніе и во время самаго паденія; изъ чего легко можно видѣть, что движеніе падающаго тѣла становится скорѣе и скорѣе. Въ этомъ состоитъ различіе дѣйствія внутреннихъ силъ, которыя заключаются въ самыхъ движущихся тѣлахъ, отъ дѣйствія внѣшнихъ силъ. Какою нибудь внѣшнею силою всегда производится *равномѣрное движеніе*; внутреннею же силою производится движеніе *ускорительное*, или если она дѣйствуетъ противоположно другой силѣ, *укоснительное*.

§ 63.

Ускорительное движеніе какого нибудь падающаго тѣла можно объяснить себѣ слѣдующимъ образомъ: положимъ, что матеріальная частица при своемъ паденіи въ продолженіи одной секунды прошла извѣстное пространство. Если (фиг. 70) изобразимъ время одной секунды линіею АВ, то мы можемъ представить себѣ это

продолженіе времени раздѣленнымъ на весьма малые равные періоды, которые мы изобразимъ линіями А*m*, *mn*, *no*, *op* и проч. предположимъ напр. 1000000 такихъ частей, такъ что А*m*, *mn*, и проч. надобно представить себѣ гораздо меньшими, нежели въ фигурѣ. Допустивши столь малые промежутки времени мы весьма значительно приблизимся къ истинѣ, если предположимъ, что въ продолженіи столь малыхъ періодовъ времени, каковы А*m*, *mn*, и проч. скорость тѣлъ не измѣняется примѣтнымъ образомъ и при этомъ предположеніи тѣмъ ближе подойдемъ къ истинѣ, чѣмъ меньше будутъ принимаемы эти частицы времени. Итакъ въ этомъ случаѣ можно себѣ представить, что дѣйствіе тяжести обнаруживается только въ самыя мгновенія *m*, *o*, *n*, *p* и проч., между тѣмъ какъ въ промежутки между двумя мгновеніями А и *m*, *m* и *n*, *n* и *o* и пр., никакая сила не дѣйствуетъ на тѣло: по этому скорость тѣла въ продолженіи перваго элемента времени А*m* будетъ весьма малая величина; мы также изобразимъ ее линіею *mm'*, но для отличія ея отъ линіи изображающей время, мы поставимъ ее перпендикулярно къ А*m*. По нашему предположенію въ самое мгновеніе *m* дѣйствуетъ на тѣло новый толчекъ силы и слѣдов. скорость его сдѣлается больше, напр. *mm'*; съ этою новою скоростію тѣло будетъ двигаться въ продолженіи малаго времени *mn*, по окончаніи котораго опять дѣйствуетъ новый толчекъ тяжести и скорость его увеличится до *nn'*; съ этою новою скоростію тѣло будетъ двигаться въ продолженіи времени *no* и т. д. Если представимъ себѣ эти элементы времени безконечно малыми, то безъ сомнѣнія мы имѣемъ настоящее понятіе о томъ, что происходитъ съ тѣломъ во время его паденія.

Теперь раждается вопросъ, *равны ли или неравны* толчки, сообщаемые падающему тѣлу по прошествіи равныхъ

весьма малыхъ промежутковъ времени, или, что все равно, паденіе тѣлъ, *есть ли движеніе равномѣрно или неравномѣрно ускорительное.* — Если притяженіе земли во всѣхъ элементахъ времени, начиная отъ А до В, равно велико, то и толчки сообщаемые въ каждое мгновеніе будутъ равносильны и движеніе будетъ равномѣрно ускорительное. Теперь легко можно видѣть, что тяжесть тѣмъ сильнѣе будетъ дѣйствовать на тѣло, чѣмъ оно больше приближается къ центру земли, въ которомъ мы можемъ представить себѣ какъ бы сосредоточенною равнодѣйствующую притяженія всѣхъ частицъ земли; и мы уже знаемъ, что притяженіе возрастаетъ въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстоянія тѣлъ отъ этого центра земли. И такъ въ строгомъ смыслѣ свободное паденіе тѣлъ есть движеніе неравномѣрно ускорительное; но если тѣло падаетъ съ высоты не весьма большой, простирающейся напр. только на нѣсколько сотъ футовъ, то приращеніе силы тяжести такъ мало, что ее можно считать равномѣрною во всѣхъ точкахъ пространства, проходимаго тѣломъ. Предположимъ напр. что тѣло падаетъ съ высоты 100 футовъ, такъ что если DAF (фиг. 71) представляетъ поверхность земли и тѣло будетъ падать отъ В къ А то будетъ $BA = 100$ фут. Радіусъ земной содержитъ 20000000 футовъ, слѣд. мы получимъ:

Сила тяжести въ точкѣ В: къ силѣ тяжести въ $A = AC^2 : BC^2 = (20000000)^2 : (20000100)^2$ т. е. на поверхности земли сила была бы почти на $\frac{1}{1000000}$ больше силы на высотѣ 100 футовъ; но обыкновенно высота, съ которой падаютъ тѣла бываетъ не больше 100 футовъ и по этому съ полнымъ правомъ можно допустить, что сила тяжести во всѣхъ точкахъ паденія одинакова и что въ слѣдствіе сего движеніе тѣлъ при свободномъ паденіи есть движеніе равномѣрно ускорительное.

§ 64.

Съ этимъ предположеніемъ обратимся опять къ нашему разсужденію; пусть AB (фиг. 72) выражаетъ время, которое употребляется тѣломъ на то, чтобъ отъ точки начала паденія достигнуть до земной поверхности. Опять раздѣлимъ это время на части равныя и весьма малыя Am, mn, no, op и проч. и представимъ себѣ, что послѣ каждаго изъ этихъ малыхъ періодовъ времени тяжесть сообщаетъ тѣлу одинаковые равные толчки, но что въ продолженіи этихъ періодовъ тѣло движется съ тою же равномѣрною скоростію, которую оно получаетъ въ началѣ самаго періода. Если скорость, которую тѣло пріобрѣло отъ дѣйствія тяжести въ первое мгновеніе, будетъ выражено чрезъ Aa, то въ продолженіи времени Am тѣло будетъ двигаться равномѣрно. Поэтому пространство, пройденное въ этотъ періодъ времени, получится, какъ мы уже видѣли (§ 23), если умножить время на скорость; слѣд. оно выразится произведеніемъ $Aa \times Am$, т. е. прямоугольникомъ $Aam'm$. Въ началѣ втораго періода тѣло опять получаетъ толчекъ равный первому; скорость, пріобрѣтенная отъ этого тѣломъ равна будетъ прежней скорости Aa или mm', сложенной со второю равною ей $m''m'$ и слѣд. пространство пройденное во второй періодъ времени mn опять будетъ равно $mm'' \times mn$ или равно прямоугольнику $mm''nn'$. Въ третій моментъ n на тѣло опять дѣйствуетъ такой же толчекъ, который увеличитъ пріобрѣтенную въ предыдущихъ моментахъ скорость количествомъ $n'n''$, такъ что отъ этого пространство пройденное въ третій моментъ выразится прямоугольникомъ $nn''o'o$. Подобнымъ образомъ въ слѣдующія мгновенія op, pq, и пр. проходятся пространства, которыя выразятся прямоугольниками $oo''p'p$, $pp''q'q$, и проч. Теперь если AC изображаетъ секунду, то пространство пройденное въ продолженіи ея будетъ выражено фигурою $DCAam'm''n'n''o'o''$ . . . Если вмѣсто десяти періодовъ, какъ показано въ фигурѣ, представимъ себѣ 100, 1000, 100000 и еще больше, то легко увидимъ, что высоты небольшихъ прямоугольниковъ будутъ болѣе и болѣе уменьшаться и черезъ это ломаная линія $Aam'm''n'n''$ будетъ приближаться къ прямой AD и при безконечномъ числѣ промежутковъ времени должна совпадать съ нею. Но чѣмъ больше будемъ представлять себѣ промежутковъ въ продолженіи первой секунды или что все равно, чѣмъ больше будемъ воображать себѣ толчковъ, слѣдующихъ одинъ за другимъ, тѣмъ больше мы будемъ приближаться къ тому случаю, который имѣетъ мѣсто въ природѣ и совершенно приблизимся къ нему, если допустимъ безконечное множество такихъ промежутковъ; итакъ мы видимъ, что для случая свободнаго паденія тѣлъ мы можемъ себѣ представить, что все пространство, проходимое въ первую секунду, точно выражается треугольникомъ ACD, между тѣмъ какъ линія CD выражаетъ скорость, пріобрѣтенную въ концѣ первой секунды. Во вторую секунду, которую мы можемъ изобразить линіею CB (= AC), если бы тяжесть мгновенно перестала дѣйствовать въ концѣ первой секунды, тѣло двигалось бы по силѣ недѣятельности съ равномѣрною скоростію CD, слѣд. прошло бы пространство CD × CB; итакъ этотъ путь выражался бы прямоугольникомъ CDBF. Но тяжесть не перестаетъ дѣйствовать на тѣло и въ продолженіи 2 секунды и будетъ ускорять его движеніе, какъ въ первую секунду, такъ что пространство пройденное отъ ускоренія будетъ совершенно тоже самое, которое пройдено тѣломъ въ первую секунду; слѣд. оно будетъ выражено треугольникомъ

DFG = ACD и все пространство, пройденное тѣломъ вслѣдствіе недѣятельности и ускоренія вмѣстѣ выразится трапеціею CBGD; слѣд. оно будетъ въ 3 раза больше пространства пройденнаго въ первую секунду, а скорость BG пріобрѣтенная въ концѣ второй секунды, будетъ вдвое больше скорости въ концѣ первой секунды. Такимъ же образомъ можно продолжить разсужденіе; въ продолженіе 3 секунды со скоростію BG тѣло отъ недѣятельности пройдетъ пространство, которое выразится прямоугольникомъ = 4ACD, ускореніе прибавляетъ къ этому пространству еще ACD, слѣд. все пространство пройденное въ 3 секунду будетъ = 5ACD. Такимъ же образомъ въ 4 секунду 7ACD и т. д.

Соединяя вмѣстѣ результаты, полученные изъ представленныхъ выше разсужденій, получимъ

Скорость, пріобр. въ 1 сек. = 1CD пройд. простр. = 1ACD.
.... 2......2CD.................. 3ACD.
.... 3......3CD.................. 5ACD.
.... 4......4CD.................. 7ACD.
Слѣдоват. вообще въ n.....nCD..........$(2n-1)$ACD.

т. е. скорости *пропорціональны временамъ*, а пространства пройденныя въ каждую секунду относятся какъ рядъ *нечетныхъ чиселъ*. Если же будемъ считать всѣ пространс съ самаго начала, то получимъ чрезъ сложеніе выше приведенныхъ пространствъ

По прошес. 1 сек. тѣло проходитъ простр. 1ACD = 1ACD.
2-хъ секундъ .... (1 + 3) ACD = 4ACD.
3-хъ ....(1+3+5)ACD = 9ACD.
4-хъ ....(1+3+5+7)ACD = 16ACD.
Вообще въ n... $(1+2+3+5+7+..(2n-1)$ACD $= n^2$.ACD.

Изъ этого слѣдуютъ общіе законы для свободнаго паденія тѣлъ:

1) *Пріобрѣтенныя скорости относятся какъ времена,*

2) *Пространства, пройденныя съ самаго начала паденія, относятся какъ квадраты временъ.*

Итакъ если скорость, пріобрѣтенную въ первую секунду, назовемъ g, то g будетъ изображать нашу линію CD; такъ какъ AC = 1, то будетъ △ ACD $= \frac{g}{2}$; слѣд. для скорости c и для пространства e, по прошествіи t секундъ мы имѣемъ слѣдующія уравненія:

$$c = gt \text{ и } e = \frac{gt^2}{2}.$$

Теперь, если бъ мы знали величину g, то мы могли бы для каждаго мгновенія вычислять скорость и пространство, пройденное тѣломъ. Изъ опытовъ нашли (мы скоро увидимъ какимъ образомъ), что тѣло въ первую секунду проходитъ почти 16 футовъ; слѣд. нашъ треугольникъ ACD = 16, по этому $g = 32$ фут. т. е. въ концѣ первой секунды тѣло пріобрѣтаетъ такую скорость, съ которою оно безъ ускоренія тяжести, во вторую секунду прошло бы 32 фута.

§ 65.

Теперь мы объяснимъ двѣ вышеприведенныя формулы нѣкоторыми примѣрами.

Задача 1. Пусть съ высоты башни падаетъ камень и замѣтимъ на часахъ, показывающихъ секунды, то время, которое нужно для того, чтобы камень упалъ съ самой верхней точки на землю; положимъ, что это время = 4 секундамъ. Какъ высока должна быть башня?

По нашей формулѣ мы имѣемъ $e = \frac{gt^2}{2}$; здѣсь время $t = 4$ секунд. и g по предыдущему = 32.

Слѣдов. искомая высота башни будетъ:

$$e = \frac{32 \times 4^2}{2} = 256 \text{ футамъ.}$$

Задача 2. Тѣло падаетъ съ высоты 100 футовъ; узнать, какую скорость оно пріобрѣтетъ?

Здѣсь дано e, нужно найти c. Если изъ втораго уравненія $e = \frac{gt^2}{2}$ опредѣлимъ t, то найдемъ $t = \sqrt{\frac{2e}{g}}$ и потомъ подставляя величину, найденную для t, въ первое уравненіе получимъ:

$$c = g.\sqrt{\frac{2e}{g}} = \sqrt{2eg.}$$

и такъ какъ въ нашемъ примѣрѣ $e = 100$ фут, то получимъ:

$$c = \sqrt{2.100.32} = 80.$$

т. е. скорость тѣла послѣ того, какъ оно упало съ высоты 100 фут., будетъ такъ велика, что тѣло безъ дальнѣйшаго дѣйствія тяжести, а только по силѣ недѣятельности, будетъ проходить въ каждую секунду 80 футовъ.

Опытомъ доказано, что каждая матеріальная частица падаетъ съ одинаковою скоростію, какъ бы ни было различно химическое свойство оной. Изъ этого слѣдуетъ, что всякое тѣло падаетъ и съ одинаковою скоростію, какъ бы великъ ни былъ вѣсъ его; потому что если въ одномъ тѣлѣ матеріальныхъ частицъ во 100 разъ больше, нежели въ другомъ, то на каждую изъ нихъ будетъ дѣйствовать одинаковая сила, слѣд. на 100 частицъ будетъ дѣйствовать сила во 100 разъ большая. И такъ пухъ и червонецъ должны падать съ одинаковою скоростію, что впрочемъ какъ извѣстно не имѣетъ мѣста въ природѣ. Но это можно изъяснить, принимая въ разсужденіе то, что при выводѣ закона для свободнаго паденія тѣлъ мы не обращали вниманія

на то, что падающее тѣло движется не въ пустомъ пространствѣ, но въ воздухѣ, т. е. въ срединѣ, которая при движеніи всегда должна быть вытѣснена изъ своего мѣста; слѣдовательно часть силы тяжести должна быть употреблена для этого и потому движеніе падающаго тѣла должно быть медленнѣе, нежели когда бы не было этого сопротивленія. Это дѣйствіе называютъ *сопротивленіемъ средины*, въ которой происходитъ движеніе; вліяніе этого сопротивленія на движеніе весьма важно. Оно бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше поверхность, которою тѣло ударяется о воздухъ, а такъ какъ объемъ тѣла при одномъ и томъ же вѣсѣ бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше его плотность, то и поверхность въ легкихъ тѣлахъ будетъ больше нежели въ тяжелыхъ, а слѣд. и сопротивленіе воздуха. Сопротивленіе увеличивается еще больше въ томъ случаѣ, когда мы значительно увеличимъ поверхность какого нибудь тѣла относительно его массы, какъ напр. если заставимъ падать пустое тѣло или весьма плоское, напр. листъ бумаги, перо и проч: въ этомъ состоитъ причина, почему въ нашемъ вышеприведенномъ примѣрѣ пухъ медленнѣе падаетъ нежели червонецъ; сопротивленіе воздуха дѣйствуетъ на пухъ несравненно сильнѣе, нежели на кусокъ металла. Что дѣйствительно въ этомъ состоитъ причина этого явленія, доказываютъ тѣмъ, что даютъ тѣламъ падать въ пространствѣ, не содержащемъ воздуха; въ послѣдствіи мы увидимъ, какъ можно сдѣлать пространство пустымъ посредствомъ воздушнаго насоса.

§ 66.

Что бъ доказать на опытѣ законы свободнаго паденія тѣлъ, которые мы вывели изъ однихъ теоретическихъ раз-

сужденій, нельзя въ самомъ дѣлѣ произвести опытовъ надъ тѣлами свободно падающими, потому что это движеніе такъ быстро, что нельзя съ удобностію наблюдать его. Для этого употребляютъ машину, называемую по имени изобрѣтателя, *Атвудовою машиною.* На неподвижномъ блокѣ C (фиг. 73), весьма легко обращающемся на своей оси лежитъ нить, къ концамъ которой привѣшены двѣ равныя гирьки A и B. Такъ какъ онѣ равны, то онѣ будутъ оставаться въ равновѣсіи въ какомъ угодно положеніи; но если на одну гирьку B, положимъ металлическую пластинку DE, то эта сторона теперь будетъ тяжелѣе, и слѣд. она будетъ упадать съ равномѣрно ускорительнымъ движеніемъ. Но при этомъ движеніи и гирьки A и B будутъ приведены въ движеніе, а слѣд. скорость будетъ гораздо менѣе, нежели когда бы пластинка DE падала одна. Въ самомъ дѣлѣ если вѣсъ пластинки $DE = p$, а вѣсъ гирекъ A и B будетъ P, то суммою этихъ вѣсовъ выразится число матеріальныхъ частицъ въ тѣлахъ DE, A и B. Слѣд. дѣйствіе, производимое тяжестію на p, должно привести въ движеніе массы $p + 2P$. Итакъ если толчки, сообщаемые тяжестію каждой отдѣльно падающей матеріальной частицѣ выразимъ чрезъ g (т. е. чрезъ такое пространство, которое будетъ проходить частица свободно падающая по прошествіи первой секунды только по причинѣ пріобрѣтенной скорости отъ недѣятельности), то теперь дѣйствіе тяжести уменьшится въ отношеніи $p : p + 2P$, слѣд. должно быть $= \frac{p}{p+2P} \times g$ или g'. Такъ какъ g по предъидущему равно 32 фут., то легко вычислить соотвѣтственную величину въ Атвудовой машинѣ. Пусть напр. вѣсъ A и B или величина P будетъ $= 2\frac{1}{2}$ фунт., прибавочная тяжесть $p = \frac{1}{5}$ фунт.

то будетъ $g' = \frac{1/5}{1/5 + 5} \times 32 = 2$ фут. т. е. въ Атвудовой машинѣ по прошествіи первой секунды падающія тѣла пріобрѣтаютъ такую скорость, которая сама по себѣ могла бы заставить тѣло проходить во вторую секунду 2 фут.; но такъ какъ мы знаемъ, что пространство проходимое въ первую секунду составляетъ половину окончательной скорости, то слѣдуетъ, что въ Атвудовой машинѣ тѣло въ одну секунду пройдетъ 1 футъ т. е. величину, которую легко можно наблюдать и которая въ 16 разъ меньше всего пространства, проходимаго въ одну секунду свободно падающимъ тѣломъ. Теперь, что бы посредствомъ Атвудовой машины доказать законы паденія тѣлъ, дѣлаютъ опыты слѣдующимъ образомъ:

1. Должно доказать, что пространства проходимыя съ самаго начала паденія пропорціональны квадратамъ временъ. Для этого поднимаютъ тяжесть B безъ DE до тѣхъ поръ, пока нижній край ея будетъ стоятъ противъ 0, означеннаго на маштабѣ, находящемся близъ машины, а металлическую пластинку G ставятъ на 1 футъ, на томъ же маштабѣ. Теперь если выше принятое отношеніе для P и p дѣйствительно имѣетъ мѣсто, то тяжесть B, когда положимъ на нее пластинку DE, должна по прошествіи одной секунды удариться о поверхность G. Когда убѣдимся въ этомъ, то поставимъ G на 4 фута, означенные на маштабѣ и поднимемъ опять B до 0, тогда найдемъ, что эта тяжесть точно пройдетъ это пространство по прошествіи двухъ секундъ. Если поставимъ G на 5 футовъ, то найдемъ, что время употребляемое для того что бы B достигнуло отъ 0 до 5 равно $\sqrt{5} = 2{,}2''$, сообразно съ нашею формулою $e = \frac{gt^2}{2}$ въ которой, какъ мы тотчасъ видѣли, $g = 2$.

2. Если хотимъ повѣрить формулу $v = \sqrt{2ge}$, въ которой для принятыхъ нами величинъ p и P нужно вставить $g = 2$, — слѣд. будетъ $v = 2\sqrt{e}$, — то опять поставимъ B на 0, потомъ передвинемъ кольцо F напр. на 1 футъ, а G на 3 фута. Тогда тяжесть B пройдетъ вмѣстѣ съ пластинкою DE пространство отъ 0 до 1 въ одну секунду; здѣсь гирька B пройдетъ свободно черезъ кольцо F, но DE останется на кольцѣ и слѣд. B пойдетъ дальше безъ ускоренія съ одною пріобрѣтенною скоростію; мы увидимъ, что она пройдетъ 2 фута въ одну секунду. Если бы мы поставили кольцо на 3 фута, то нашли бы что $v = \sqrt{12} = 3,5$ если бы дощечка G поставлена была на этомъ разстояніи отъ кольца, то это пространство опять было бы пройдено въ одну секунду.

При всѣхъ этихъ опытахъ съ Атвудовою машиною предполагается, что при движеніи, кромѣ тяжести, не дѣйствуетъ никакая сила; но собственно говоря этого не бываетъ. Во первыхъ и здѣсь дѣйствуетъ сопротивленіе воздуха, но вліяніе его въ этомъ случаѣ меньше, нежели при свободномъ паденіи тѣлъ, потому что здѣсь движеніе гораздо медленнѣе, а извѣстно, что сопротивленіе воздуха увеличивается пропорціонально квадратамъ скоростей. Другое препятствіе движенію находится *въ треніи блока* объ его ось; для преодоленія его употребляется часть силы тяжести. Можно дѣйствительно убѣдиться въ существованіи тренія, если приведя въ равновѣсіе A и B, положимъ напр. на B одну долю, при этомъ B не понизится, что должно бы было случиться отъ малѣйшей прибавочной тяжести. Чтобы уменьшить треніе какъ возможно больше, для сего обыкновенно кладутъ ось блока не непосредственно на твердую подставку, но между колесами подобными бло-

камъ, какъ видно въ фигурѣ, которые при обращеніи блока C сами обращаются, такъ что ось C не скользитъ на подставкѣ, но вертится вмѣстѣ съ нею.

Наконецъ для того, чтобы съ точностію можно было наблюдать время отъ начала движенія тяжести B до того, когда она ударится о дощечку G, при Атвудовой машинѣ устанавливается маятникъ, который бьетъ секунды, и съ которымъ иногда соединенъ бываетъ часовой механизмъ; впрочемъ и безъ послѣдняго не трудно по движенію маятника съ достаточною точностію опредѣлить время.

§ 67.

Изъ всего сказаннаго слѣдуетъ, что *законы движенія* на Атвудовой машинѣ суть тѣже, какіе и въ свободномъ паденіи, только одна скорость или величина g можетъ быть по произволу измѣнена измѣненіемъ отношенія p къ P. Такое уменьшеніе скорости мы можемъ получить еще простѣйшимъ способомъ, не давая тѣлу, напр. шару, падать свободно, но заставляя его катиться по наклонной плоскости. Въ самомъ дѣлѣ пусть K будетъ шаръ на наклонной плоскости AB (фиг. 54); тяжесть дѣйствуетъ на центръ тяжести шара въ вертикальномъ направленіи KG; если составимъ параллелограмъ KMGN, гдѣ KM параллельно AB, KN перпендикулярно къ AB, то мы можемъ замѣнить тяжесть KG двумя силами KM и KN, которыя производятъ тоже дѣйствіе. Изъ нихъ KN, дѣйствующая перпендикулярно къ неподвижной плоскости AB, уничтожается сопротивленіемъ этой послѣдней и остается только KM, отъ которой движется тѣло. Но изъ подобія треугольниковъ KGM и ABC имѣемъ:

$$AB : AC = KG : KM$$

откуда: $$KM = \frac{KG \cdot AC}{AB}$$

или если длину плоскости AB назовемъ l, и высоту ея $AC = h$

$$KM = g\frac{h}{l}.$$

Изъ этого слѣдуетъ, что сила KM, способствующая движенію тѣла, можетъ быть сдѣлана меньше g въ какомъ угодно отношеніи, уменьшая высоту h наклонной плоскости въ отношеніи къ длинѣ l, т. е. приближая наклонную плоскость къ горизонтальности. Если плоскость будетъ совершенно горизонтальна, то будетъ $h = 0$ а слѣд. $KM = 0$ т. е. шаръ не будетъ падать, какъ это разумѣется само собою. Итакъ съ наклонною плоскостію, какъ уже сказано, можно бы было дѣлать тѣже опыты, которые обыкновенно производятся на Атвудовой машинѣ, но предпочитаютъ послѣднюю потому что измѣреніе проходимаго пространства удобнѣе.

О движеніи брошенныхъ тѣлъ.

§ 68.

Мы видѣли какимъ законамъ слѣдуетъ движеніе свободно падающаго тѣла; теперь мы перейдемъ къ изслѣдованію законовъ, по которымъ происходитъ движеніе брошенныхъ тѣлъ, на которыя слѣд. кромѣ бросающей силы (силы верженія) дѣйствуетъ еще тяжесть. Мы начнемъ съ простѣйшаго случая, въ которомъ тѣло вертикально вержется снизу вверхъ. Здѣсь дѣйствуетъ сила верженія и сила тяжести противоположно одна другой. Итакъ предположимъ, что бросаютъ тѣло, напр. шаръ, снизу вверхъ

съ такою силою, что шаръ, если бъ не дѣйствовала на него тяжесть, проходилъ бы въ секунду пространство c; такъ какъ сила верженія есть внѣшняя сила, дѣйствующая на тѣло только мгновенно, то по этому тѣло безъ тяжести и во вторую секунду прошло бы c, въ третью тоже c, и т. д. Напротивъ дѣйствіе силы тяжести на шаръ таково, что онъ пріобрѣлъ бы въ первую секунду скорость g, во вторую скорость $2g$, въ t секунду tg и то въ направленіи, противоположномъ первому. Итакъ дѣйствительная скорость, пріобрѣтенная въ t секундъ при одновременномъ дѣйствіи обѣихъ силъ, будетъ равна разности обѣихъ скоростей т. е.

$$c - gt.$$

По этому если эта величина равна 0, то тѣло не будетъ больше двигаться т. е. тогда сила тяжести совершенно уничтожитъ силу верженія; тѣло на высотѣ наибольшей, которой оно достигло, на одно мгновеніе останется въ покоѣ и потомъ станетъ падатъ отъ продолжающагося дѣйствія силы тяжести. Если хотимъ узнать черезъ сколько секундъ это случится, то нужно только изъ условнаго уравненія

$$c - gt = o$$

опредѣлить t; такимъ образомъ найдемъ

$$t = \frac{c}{g}$$

Если бъ напр. скорость c была 2400 футовъ,-это почти составляетъ скорость 24 фунтоваго пушечнаго ядра при выходѣ его изъ жерла пушки, — то это ядро поднималось бы вверхъ въ $\frac{2400}{32}$ секунды т. е. въ 75 секундъ или $1\frac{1}{4}$ минуты (еслибъ сопротивленіе воздуха значительно

не уменьшало этаго времени) и потомъ начало бы упадать внизъ.

Въ продолженіе этаго времени t, тѣло безъ дѣйствія тяжести прошло бы пространство ct, а отъ дѣйствія тяжести $\frac{gt^2}{2}$, какъ мы видѣли выше (§ 64), въ противоположномъ направленіи, слѣд. пространство пройденное на самомъ дѣлѣ будетъ

$$e = ct - \frac{gt^2}{2}.$$

или, если вмѣсто t поставимъ его величину $\frac{c}{g}$,

$$e = \frac{1}{2} \cdot \frac{c^2}{g}.$$

такова высота, до которой оно достигаетъ, слѣд. въ нашемъ примѣрѣ пущенное ядро, еслибъ не противодѣйствовало ему вліяніе воздуха, достигло бы до высоты 90000 футовъ т. е. на 26 верстъ; потомъ оно начало бы упадать и при ударѣ о землю имѣло бы скорость $v = \sqrt{2ge}$. Поставляя вмѣсто e его величину $\frac{1}{2} \cdot \frac{c^2}{g}$ найдемъ что $v = c$ т. е. ядро опять пріобрѣтетъ туже самую скорость, съ какою оно было выстрѣлено. Время, которое употребляется имъ для того, чтобы воротиться назадъ, мы найдемъ изъ уравненія даннаго для свободнаго паденія $v = gt$

$$t = \frac{v}{g} = \frac{c}{g}$$

т. е. время это будетъ равно тому, которое мы нашли для восхожденія ядра вверхъ. Такимъ образомъ выводится слѣдующее правило для тѣлъ брошенныхъ вверхъ вертикально: *Вертикально брошенное тѣло поднимается на такую высоту, что время нужное для этого равно времени употребляемому для того, чтобы съ этой высо-*

ты отъ дѣйствія одной тяжести, упасть опять на землю и когда оно упадетъ, то скорость при этомъ пріобрѣтенная будетъ точно таже, съ которою тѣло было брошено.

§ 69.

Если тѣло брошено въ косвенномъ направленіи какою нибудь внѣшнею силою, заставляющею его проходить въ секунду пространство c, то пусть CN будетъ направленіе верженія (фиг. 74), CP поверхность земли. Еслибъ тяжесть не дѣйствовала, то тѣло въ первую секунду прошло бы пространство Cn, во вторую пространство nn', въ третью пространство $n'n''$ и пр. Но тяжесть заставляетъ его въ первую секунду пройти пространство nm въ направленіи къ земной поверхности; слѣд. тѣло послѣ первой секунды будетъ не въ n, но въ m; во вторую секунду тѣло упало бы пройдя пространство $n'm' = 4nm$, слѣд. оно будетъ не въ n', но въ m'; подобнымъ образомъ послѣ третьей секунды оно будетъ не въ n'', но ниже пространствомъ $n''m'' = 9nm$ и наконецъ послѣ четвертой секунды не въ N но въ P. Но такъ какъ паденіе внизъ происходитъ не въ самыя мгновенія n, n', n'', N, но непрерывно продолжается, то и движеніе происходитъ не по ломаной линіи $Cmm'm''P$, но по кривой проходящей чрезъ эти точки. Механика научаетъ, что эта кривая линія есть парабола; она показываетъ, какъ можно найти наибольшую высоту верженія $m'B$ равно какъ и наибольшую даль его. Но эта кривая линія весьма измѣняется отъ сопротивленія воздуха, такъ что двѣ вѣтви ея Cm' и nP не одинаковую имѣютъ кривизну; но нисходящая больше приближается къ отвѣсу, нежели восходящая (фиг. 75). Принадлежащія сюда задачи имѣютъ значи-

тельное приложеніе въ Артиллеріи, особенно при бросаніи бомбъ; полная теорія этаго, какъ особенная наука, называется *Баллистикою*.

О маятникѣ.

§ 70.

Маятникъ есть прямая несгибающаяся линія, которая однимъ концомъ A укрѣплена такъ, что она можетъ обращаться около этой точки, между тѣмъ какъ на концѣ B находится тяжесть. Если линія AB (фиг. 76) есть математическая линія, не имѣющая никакого вѣсу, то маятникъ называется *математическимъ* или *простымъ*; онъ называется *физическимъ* маятникомъ, если линія AB есть прутъ, имѣющій собственную тяжесть. Въ природѣ находимъ только физическіе маятники, а къ математическому только можемъ приблизиться уменьшеніемъ вѣса прута въ отношеніи къ тяжести B. Но для изслѣдованія законовъ движенія маятника разсматриваютъ прежде математической маятникъ и потомъ приводятъ движеніе физическаго маятника къ математическому.

И такъ пусть AB будетъ математическій маятникъ; если онъ находится въ равновѣсіи, то онъ приметъ отвѣсное положеніе, потому что въ этомъ случаѣ центръ тяжести B находится прямо подъ точкою опоры A. Если изъ этого положенія равновѣсія выведемъ его въ положеніе AB′ такъ, что онъ съ первоначальнымъ положеніемъ будетъ составлять уголъ отклоненія α, и оставимъ его самому себѣ, то онъ не можетъ пребывать въ этомъ положеніи, но тяжесть опять приведетъ его въ положеніе равно-

вѣсія. Чтобы видѣть это, пусть B′C будетъ показывать напряженіе и величину силы тяжести; составивъ паралелограммъ B′FCD, въ которомъ B′F находится на продолженіи AB′, а DB′ перпендикулярно къ этому направленію, мы можемъ силу B′C замѣнить двумя силами B′F и B′D, дѣйствующими также какъ и B′C. Но B′F не будетъ имѣть никакого дѣйствія на движеніе маятника, потому что она уничтожается неподвижностію точки A, слѣд. остается только сила B′D, приводящая точку B′ въ положеніе равновѣсія B. Такъ какъ уголъ $DCB' = \alpha$ то, если g выражаетъ силу тяжести B′C, получимъ

$$B'D = g.\ \sin\ \alpha.$$

Теперь если представимъ себѣ, что время движенія маятника отъ B′ къ B раздѣлено на весьма малыя части, точно также какъ при свободномъ паденіи тѣлъ, то движеніе маятника можно будетъ принять за слѣдствіе малыхъ толчковъ, которые повторяются послѣ каждаго малаго періода времени и изъ которыхъ каждый можетъ быть выраженъ чрезъ $g \sin \alpha$; такъ какъ α становится меньше и меньше, а слѣд. и $\sin \alpha$, то толчки будутъ слабѣе и слабѣе; а изъ этого видно, что хотя движеніе маятника будетъ ускорительное, однако не равномѣрно ускорительное, какъ движеніе свободно падающихъ тѣлъ.

Когда частица B′ придетъ въ B, то отъ совокупности толчковъ, болѣе и болѣе ослабѣвающихъ, она пріобрѣтетъ въ этой точкѣ извѣстную скорость c; слѣд. по закону недѣятельности она будетъ двигаться съ пріобрѣтенною скоростію отъ B къ B″; но при этомъ тяжесть дѣйствуетъ въ направленіи противномъ движенію и если представимъ себѣ рядъ весьма малыхъ періодовъ времени, то въ каждое мгновеніе движеніе отъ B будетъ ослабляемо толчками противоположными ему, и такъ какъ каждый изъ этихъ тол-

чковъ имѣетъ на сторонѣ BB′ соотвѣтствующій ему толчекъ, отъ котораго происходило движеніе, то очевидно что движеніе прекратится тогда, когда сумма толчковъ останавливающихъ движеніе равна будетъ суммѣ произведшихъ оное т. е. когда уголъ $B''AB = B'AB = \alpha$; изъ чего слѣдуетъ, что маятникъ на другой сторонѣ BB″ поднимается на такую высоту, до которой онъ поднятъ былъ на сторонѣ BB′. Когда маятникъ отъ B″ упадетъ въ B, то онъ опять пойдетъ къ B′ и такимъ образомъ видно, что такой маятникъ будетъ совершать рядъ равныхъ колебаній отъ B′ къ B″ и обратно. Движеніе по дугѣ B′BB″ называется *колебаніемъ* или *качаніемъ*, а самая дуга *шириною размаха*.

§ 71.

Таково было бы движеніе математическаго маятника вообще. Теперь раждается вопросъ: какъ велико время колебанія такого маятника? Только высшій Анализъ можетъ дать отвѣтъ на этотъ вопросъ. Онъ показываетъ, что если колебанія маятника будутъ велики, то для большихъ колебаній нужно немного больше времени нежели для меньшихъ, но если колебанія малы, напр. не больше 5^0, то въ этихъ предѣлахъ всѣ колебанія совершаются въ одно время, будетъ ли ширина размаха 1^0, $1\frac{1}{2}$ и т. д. до 5^0.

Въ этомъ случаѣ время одного колебанія выражается формулою

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

гдѣ T означаетъ это время, π отношеніе окружности къ діаметру т. е. 3, 14 . . , l длину маятника AB, g напряженіе тяжести т. е. то пространство, которое въ слѣдствіе скорости, пріобрѣтенной въ первую секунду, проходится

свободно падающимъ тѣломъ въ одну секунду; мы прежде нашли, что эта величина = около 32 фут.

Если мы имѣемъ два маятника, которыхъ длина есть l, l', а T и T′ означаютъ времена нужныя для одного колебанія, то мы получимъ

$$T : T' = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} : \pi\sqrt{\frac{l'}{g}}$$

или раздѣляя послѣднее отношеніе на $\sqrt{\frac{\pi}{g}}$

$$T : T' = \sqrt{l} : \sqrt{l'}$$

т. е. *времена колебанія двухъ простыхъ маятниковъ относятся какъ корни квадратные изъ длины маятниковъ.*

Изъ наблюденій извѣстно, что длина простаго маятника, который въ Петербургѣ для одного колебанія требуетъ одну секунду и который по этому называется *секунднымъ маятникомъ*, содержитъ почти 39,17 дюйма; слѣд. длина для маятника, совершающаго одно колебаніе въ полсекунду, найдется изъ пропорціи:

$$1 : \tfrac{1}{2} = \sqrt{39,17} : \sqrt{x}$$

$$\text{или } 1 : \tfrac{1}{4} = 39,17 : x$$

$$\text{Слѣд. } x = \frac{39,17}{4} = 9,79 \text{ дюймовъ.}$$

Мы вскорѣ увидимъ, что длины секундныхъ маятниковъ не вездѣ одинаковы, потому что напряженіе тяжести не вездѣ находится въ равной степени и наша формула даетъ весьма простое средство для опредѣленія сего напряженія тяжести. Въ самомъ дѣлѣ, если напр. знаемъ изъ опытовъ, что длина секунднаго маятника въ какомъ нибудь мѣстѣ есть l, то изъ формулы

$$1 = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

найдемъ $g = \pi^2 l$.

Взявши длину секунднаго маятника въ Петербургѣ $=39,17$, мы получимъ для напряженія тяжести въ Петербургѣ

$$g=(3,14)^2 39,17=386,2 \text{ дюйма}=32,2 \text{ фут.}$$

которая величина намъ уже извѣстна изъ предъидущаго.

§ 72.

Такъ какъ время одного колебанія маятника можно опредѣлить съ большою точностію, то это есть лучшее средство для опредѣленія напряженія тяжести—величины весьма важной въ Механикѣ, какъ мы уже имѣли случай замѣтить. Но такъ какъ мы можемъ дѣлать наблюденія съ физическимъ только маятникомъ, а всѣ выведенные нами законы относятся къ математическому, то мы должны знать, какимъ образомъ, опредѣливши точными опытами время колебанія физическаго маятника, можно потомъ найти длину математическаго, который бы колебался съ одинаковою скоростію.

Пусть AB (фиг. 77) представляетъ физическій маятникъ, A точку прикрѣпленія, B вѣсъ его. Вообразимъ себѣ въ этомъ маятникѣ двѣ матеріальныя частицы m и m'; такъ какъ онѣ соединены съ точкою A, то каждая изъ нихъ сама по себѣ представитъ математическій маятникъ и колебанія ихъ будутъ совершаться въ такія времена, которыя относятся какъ $\sqrt{Am} : \sqrt{Am'}$. Чѣмъ ближе къ точкѣ прикрѣпленія будутъ взяты эти частицы, тѣмъ скорѣе онѣ будутъ колебаться. Но такъ какъ всѣ частицы принадлежатъ къ одному и тому же твердому тѣлу и слѣд. могутъ двигаться только вмѣстѣ, то ясно видно, что движеніе верхнихъ частицъ отъ дѣйствія нижнихъ будетъ медленнѣе, нежели въ томъ случаѣ когдабы онѣ были не соединены между собою; такимъ же образомъ движеніе нижнихъ будетъ ускорено

верхними и дѣйствительное продолженіе одного колебанія будетъ среднее между временемъ, которое бы употребили верхнія частицы сами по себѣ и между тѣмъ временемъ, которое бы нужно было для колебанія нижнихъ не въ соединеніи съ верхними.

Изъ этого слѣдуетъ, что между точкою прикрѣпленія и самою отдаленною частицею маятника въ самой массѣ его находится такая частица, которая если бы колебалась независимо отъ другихъ, то употребляла бы для своего качанія точно тоже самое время, которое употребляетъ весъ маятникъ. Слѣд. разстояніе этой точки отъ точки прикрѣпленія есть длина того математическаго маятника, который совершалъ бы колебанія въ тоже самое время, какое нужно для физическаго разсматриваемаго нами маятника. Высшая математика показываетъ способъ опредѣлить положеніе этой точки и какимъ образомъ мы можемъ по предыдущему найти g изъ наблюденій съ физическимъ маятникомъ. При колебаніи физическаго маятника уголъ α мало по малу становится меньше и меньше, чего небываетъ въ математическомъ маятникѣ. Это зависитъ отъ двухъ причинъ; первая состоитъ въ сопротивленіи представляемомъ движенію маятника воздухомъ, въ которомъ по необходимости должно дѣлать наблюденія; вторая состоитъ въ треніи, которое претерпѣвается тѣломъ въ точкѣ прикрѣпленія. Первое вліяніе стараются уменьшить, давая тяжелому тѣлу видъ чечевицы. Фигура I (фиг. 78) представляетъ продольный разрѣзъ, сдѣланный перпендикулярно плоскости, въ которой качается маятникъ, фигура II продольный разрѣзъ сдѣланный въ этой же самой плоскости. Чечевица разсѣкаетъ воздухъ легче своими острыми краями. Второе сопротивленіе движенію т. е. треніе въ точкѣ прикрѣпленія удачно уменьшается тѣмъ, что

маятникъ привѣшивается посредствомъ стальной призмы, поперечно прикрѣпленной къ стержню его перпендикулярно къ оси колебанія; эта призма, острымъ ребромъ внизъ, лежитъ на агатовой плоскости, какъ показано въ фигурѣ. При такомъ устройствѣ не трудно достигнуть до того, что маятникъ, выведенный изъ вертикальнаго положенія на 10°, по прошествіи 4 часовъ будетъ еще совершать колебанія, которыя ясно можно наблюдать.

§ 73.

Одно изъ важнѣйшихъ приложеній маятника есть точное измѣреніе времени, которое производятъ посредствомъ его; снарядъ употребляемый для этого называется стѣнными часами. Мы получимъ довольно ясное понятіе объ этомъ изъ того, что слѣдуетъ: представимъ себѣ (фиг. 79) зубчатое колесо MN, которое вмѣстѣ съ валикомъ FG можетъ обращаться около оси C. На валикъ намотанъ шнурокъ, на концѣ котораго виситъ гиря P; отъ паденія этой гири P колесо MN начинаетъ обращаться со скоростію возрастающею до тѣхъ поръ, пока шнурокъ совершенно не размотается. Но если позади колеса виситъ маятникъ AB, и на верхнемъ концѣ его утвержденъ посредствомъ горизонтальнаго штифтика крючекъ KAD, находящійся въ плоскости зубчатаго колеса и захватывающій концами своими K и D зубцы его, то гиря не можетъ падать въ то время, когда маятникъ находится въ покоѣ, потому что конецъ K крючка препятствуетъ обращенію колеса. Когда же маятникъ будетъ двигаться отъ B къ B′, то зубецъ 1 сдѣлается свободнымъ, гиря будетъ понижаться, а колесо будетъ вертѣться до тѣхъ поръ, пока зубецъ 10 не будетъ удержанъ концемъ D крючька: послѣ этого маятникъ пойдетъ къ B″,

отъ этого конецъ D поднимается, зубецъ 10 дѣлается свободнымъ, гиря опять станетъ падать до тѣхъ поръ, пока зубецъ 2 не будетъ удержанъ концомъ K крючька. Отъ возвращенія маятника назадъ опять колесо будетъ вертѣться какъ въ началѣ и т. д.; изъ этого видно, что когда маятникъ сдѣлаетъ два колебанія, колесо повернется только на одинъ зубецъ въ два уступа. Итакъ если колесо имѣетъ 30 зубцовъ, то оно послѣ 60 колебаній маятника обернется одинъ разъ, и если маятникъ такъ длиненъ, что онъ совершаетъ одно колебаніе въ одну секунду, то прикрѣпленная на оси колеса стрѣлка будетъ показывать секунды. Посредствомъ соединенія другихъ зубчатыхъ колесъ съ колесомъ MN, основываясь на томъ, что сказано въ § 49, не трудно заставить другое колесо обращаться только на одну 60 часть въ то время, когда колесо MN сдѣлаетъ одинъ оборотъ. Стрѣлка, прикрѣпленная на оси этого колеса, будетъ показывать минуты, и наконецъ еще другое колесо, сообщающееся зубцами своими съ минутнымъ колесомъ, будетъ показывать часы. Такимъ образомъ составляются часы. Описанное нами устройство, въ которомъ движеніе маятника управляетъ силу тяжести P, называется Echappement; оно бываетъ различнаго вида; то, которое мы описали, называется крючкомъ Граама (Graham). Легко можно видѣть, что отъ паденія гири зубецъ колеса ударится объ конецъ крючка съ нѣкоторою силою; отъ сего маленькаго толчка движеніе маятника дѣлается сильнѣе, нежели безъ него, итакъ маятникъ можетъ совершать равныя качанія, тогда какъ онъ безъ этаго толчка, какъ мы уже видѣли, отъ сопротивленія воздуха дѣлаетъ колебанія безпрестанно меньшія и меньшія и наконецъ останавливается. Изъ сего видно что гиря въ часахъ должна быть такого вѣса, что бы она всякій разъ столько ускоряла движеніе маятника, сколь-

ко онъ теряетъ съ своей стороны въ скорости отъ сопротивленія воздуха и тренія.

Въ карманныхъ часахъ употребляется точно такой же механизмъ, только въ нихъ тяжесть замѣняется упругостію стальныхъ пружинъ. Вмѣсто гири колесо приводится въ движеніе спиральною пружиною натягиваемою при заведеніи часовъ, и вмѣсто маятника другая спиральная пружинка заставляетъ вертѣться туда и сюда колесо, которое посредствомъ механизма, соотвѣтствующаго Граамову крючьку, позволяетъ главной спиральной пружинѣ двигать принадлежащее къ ней колесо всегда только на одинъ зубецъ и съ одинаковою скоростію.

Изъ механизма часовъ видно, что ходъ ихъ т. е. скорость, съ которою колесо передвигается всегда на одинъ зубецъ, совершенно зависитъ отъ длины математическаго маятника, соотвѣтствующаго физическому. Итакъ по вышесказанному въ Петербургѣ длина математическаго маятника для секундныхъ часовъ должна быть=39,17 рус. дюйм. а для полусекундныхъ = 9,79. Равномѣрный ходъ часовъ существенно зависитъ отъ того, что бы маятникъ всегда оставался при одной длинѣ; но такъ какъ извѣстно, что всѣ тѣла при возвышеніи температуры нѣсколько удлиняются, то всякой маятникъ, нагрѣваясь больше, дѣлается длиннѣе и слѣд. колебанія его становятся медленнѣе, а охлаждаясь становится короче и слѣд. колебанія будутъ скорѣе и потому часы при теплой погодѣ отстаютъ, при холодной же идутъ впередъ. Этому недостатку помогаютъ особеннымъ родомъ маятника, который называется *вознаградительнымъ*, устройство котораго мы опишемъ послѣ, когда будемъ говорить о дѣйствіи теплоты.

О центральномъ движеніи.

§ 74.

Въ предъидущемъ мы подробно разсмотрѣли дѣйствія сцѣпленія и тяжести; теперь вникнемъ въ дѣйствіе тяготѣнія. Когда два небесныя тѣла напр. солнце и земля дѣйствуютъ другъ на друга, то мы вмѣсто солнца можемъ представить себѣ только одну точку, именно центръ, его въ которомъ сосредоточены притяженія всѣхъ остальныхъ точекъ, точно такимъ же образомъ какъ мы представляли себѣ притяженіе земли, оказываемое на тѣла на ея поверхности находящіяся, какъ будто сосредоточеннымъ въ центрѣ ея; явленія будутъ совершенно тѣже. Точно такимъ же образомъ и земля будетъ притягивать центръ солнца, какъ будто вся сила ея была сосредоточена въ центрѣ ея. По этому мы задачу упростимъ представляя себѣ вмѣсто солнца и земли только центры ихъ, а въ нихъ всю сумму притяженія основныхъ атомовъ въ обоихъ тѣлахъ. Итакъ пусть S представляетъ центръ солнца, а E центръ земли (фиг. 80). Какое произойдетъ движеніе отъ взаимнаго ихъ тяготѣнія? Если бы оба тѣла были въ покоѣ, то отъ взаимнаго притяженія они сближались бы и двигались съ увеличивающеюся скоростію до тѣхъ поръ, пока не столкнулись бы. Но эта взаимная притягательная сила должна привесть въ движеніе въ точкѣ E массу земли и въ точкѣ S массу солнца, которая больше земли въ 355000 разъ; слѣд. двигающая сила будетъ дѣйствовать въ 355000 больше на землю нежели на солнце, слѣд. въ сравненіи съ движеніемъ земли солнце будетъ представляться какъ будто остающимся въ покоѣ, точно такъ какъ, когда камень падаетъ на землю, то въ строгомъ

смыслѣ и земля движется къ камню, но это движеніе совершенно не замѣтно. Итакъ мы можемъ себѣ представить, что солнце стоитъ спокойно, а земля падаетъ на солнце.

Такого рода явленіе было бы тогда, когда бы на землю E, кромѣ притяженія солнца, не дѣйствовала никакая другая сила. Но если бы землѣ при сотвореніи ея сообщенъ былъ толчекъ, который бы такъ былъ великъ, что онъ въ весьма небольшой періодъ времени заставилъ бы пройти землю пространство EE′, между тѣмъ какъ притяженіе солнца въ тотъ же промежутокъ времени принудило бы ее пробѣжать пространство EM, тогда отъ дѣйствія обѣихъ силъ вмѣстѣ E двигалась бы по діагонали EF параллелограма EMFE′. Если бы тяготѣніе теперь перестало дѣйствовать, то земля со скоростію пріобрѣтенною въ F, прошла бы пространство FF′ = EF; но тяготѣніе въ тотъ же періодъ времени влечетъ землю E отъ точки F до N; слѣд. движеніе происходитъ по направленію діагонали FG, отсюда по направленію слѣдующей діагонали GK и т. д; но такъ какъ тяготѣніе дѣйствуетъ не только въ самыя мгновенія E, F, G, K, но въ каждый малѣйшій промежутокъ времени, то мы вмѣсто ломаной линіи EFGK получимъ кривую линію подобнаго вида. Высшая математика показываетъ согласно съ наблюденіями, что этотъ путь земли есть эллиптической, какъ EFGK, въ одномъ фокусѣ котораго находится центръ солнца S (фиг. 81). Родъ эллипса, который земля описываетъ около солнца, зависитъ отъ величины первоначальнаго толчка въ сравненіи съ притягательною силою и отъ направленія его.

Въ тѣхъ точкахъ своей орбиты, въ которыхъ пріобретенная скорость движенія велика, земля отдаляется отъ солнца, какъ напр. въ точкѣ K; если же напротивъ скорость движенія меньше, то она приближается къ солнцу, какъ

напр. въ F. Наконецъ есть извѣстное отношеніе между пріобрѣтенною скоростію и притѣганяльною силою, при которомъ движеніе происходитъ по круговой линіи. Земля больше всего приближается къ солнцу въ точкѣ G; здѣсь пріобрѣтенная скорость по касательной GM такъ велика, что земля опять болѣе и болѣе удаляется отъ солнца. Въ E она находится въ самомъ большемъ разстояніи отъ S, но тогда скорость ея такъ уменьшается, что притяженіе солнца опять дѣлается сильнѣе и слѣд. E будетъ болѣе и болѣе приближаться къ S. Такимъ образомъ продолжается движеніе земли безъ уменьшенія скорости, потому что она движется въ пустомъ пространствѣ, слѣд. внѣ всякой сопротивляющейся средины, ибо окружающая ее атмосфера сама участвуетъ въ этомъ движеніи. Изъ астрономическихъ наблюденій извѣстно, что орбита земли приближается къ кругу такъ что, если не требуется численной точности, можно принять ее за кругъ.

Какъ земля отъ соединеннаго дѣйствія двухъ силъ притягательной къ солнцу, называемой силою *центростремительною* и другой, которая есть слѣдствіе первоначальнаго толчка и дѣйствуетъ по касательной линіи, совершаетъ около солнца кругообразное движеніе, такъ и всѣ прочія планеты движутся около солнца, а спутники около своихъ планетъ, въ орбитахъ эллиптическихъ, приближающихся къ кругу. Но орбиты большей части кометъ суть весьма острые эллипсы, такъ что эти тѣла въ нѣкоторыхъ точкахъ орбиты весьма блиско подходятъ къ солнцу, а потомъ опять отдаляются отъ него на чрезвычайно большое разстояніе.

§ 75.

Другой примѣръ центральнаго движенія, похожаго въ своихъ явленіяхъ на движенія планетъ, мы имѣемъ

въ обращеніи шара A (фиг. 82), привязаннаго къ концу нити и катающагося на горизонтальной плоскости, около другаго конца ея C; это движеніе можно сообщить ему толчкомъ дѣйствующимъ въ направленіи AA′; шаръ будетъ обращаться по круговой линіи а нить будетъ натягиваться. Пусть AB представляетъ весьма малую часть этого круга, такъ что ее можно принимать за совпадающую съ хордою. Если проведемъ AA′ касательную къ кругу и составимъ паралелограмъ AA′BD, то AA′ можно принять за ту линію, по которой двигался бы шаръ, если бъ онъ не былъ притягиваемъ нитью къ C (если бы напр. нить мгновенно разорвалась въ то время, когда шаръ былъ въ A); слѣд. нить оказываетъ такое дѣйствіе, какъ будто въ ней дѣйствовала сила AD. Но нить можетъ произвести это движеніе только натягиваясь; слѣд. натягивающая сила нити можетъ быть выражена линіею AD. Но такъ какъ нить можно натянуть только силою дѣйствующею отъ C къ A т. е. отъ центра къ окружности, то эта натягивающая сила называется по этому *центробѣжною*. Если продолжимъ AC до F и проведемъ BF, то, такъ какъ AB можно принять за хорду, въ слѣдствіе предложенія Геометріи будетъ:

$$AF : AB = AB : AD.$$

Или если назовемъ радіусъ $AC = r$, хорду AB пробѣгаемую въ весьма малый періодъ времени $= s$ центробѣжную силу $AD = c$, то получимъ

$$2r : s = s : c$$

отсюда:

$$c = \frac{s^2}{2r}$$

Если шаръ во второмъ опытѣ будетъ обращаться скорѣе, такъ что въ весьма малый промежутокъ времени онъ будетъ проходить вмѣсто дуги или хорды s другую дугу s', то центральная сила c' будетъ:

$$c' = \frac{s'^2}{2r}$$

и слѣд.

$$c : c' = s^2 : s'^2.$$

Но очевидно, что дуга s' во столько разъ будетъ больше s во сколько время одного оборота по всему кругу въ первомъ опытѣ будетъ меньше времени во второмъ случаѣ; итакъ если означимъ время цѣлаго оборота для случая s' черезъ T' а время для s черезъ T, то получимъ:

$$s : s' = T' : T$$

а слѣд.

$$c : c' = T'^2 : T^2$$

т. е. центробѣжныя силы находятся въ обратномъ содержаніи квадратовъ временъ цѣлаго оброта.

Если времена обротовъ одинаковы, но нить въ одномъ случаѣ длиннѣе нежели въ другомъ, въ одномъ напр. $CA = r$, въ другомъ $CA' = r'$, то (фиг. 83) центробѣжныя силы будутъ $A'D' = c'$ и $AD = c$ и легко видно что:

$$AD : A'D' = AC : A'C$$

или

$$c : c' = r : r'.$$

т. е. при равныхъ временахъ оборотовъ центробѣжныя силы пропорціональны радіусамъ.

§ 76.

Центробѣжная сила раждается всегда, когда тѣло обращается около оси. Итакъ если (фиг. 84) NESA представляетъ шаръ земной, обращающійся на своей оси NS, ABED экваторъ его, то отъ быстраго движенія каждая частица экватора будетъ подвергаться дѣйствію центробѣжной силы, такъ что если бъ напр. точка A экватора была соединена нитью съ точкою C, то нить была бы натянута центробѣжною силою; слѣд. эта сила дѣйствуетъ въ направленіи отъ C къ A т. е. въ направленіи совершенно противоположномъ тяжести. На точку A

лежащую ближе къ полюсу дѣйствуетъ центробѣжная сила въ направленіи C'A' слабѣе въ отношеніи $\frac{CA'}{CA}$. Теперь уголъ $ACA' = \alpha$ означаетъ широту мѣста и извѣстно что отношеніе $\frac{CA'}{CA} = \cos\alpha$, слѣд. центробѣжная сила пропорціональна косинусу широты. Но кромѣ того она дѣйствуетъ въ направленіи AG, между тѣмъ какъ тяжесть отъ F къ A. Теперь если A'G будетъ выражать центробѣжную силу, которую мы нашли $= \cos\alpha$, принимая за единицу силу на экваторѣ, то мы разложимъ ее на A'K и A'F. Такъ какъ сила A'K перпендикулярна къ направленію тяжести, то она ни ослабляетъ ее, ни увеличиваетъ; напротивъ A'F, дѣйствующая противоположно тяжести, будетъ ослабѣвать ее; такъ какъ $GA'F = \alpha$, то нетрудно усмотрѣть, что $FA' = GA'\cos.\alpha$, или такъ какъ $GA' = \cos.\alpha$ то $FA' = \cos.^2\alpha$ Итакъ мы видимъ, что на поверхности земли сила тяжести ослабѣвается на величину пропорціональную квадрату косинуса широты. Извѣстно, что ослабленіе на экваторѣ $= \frac{1}{290}$ тяжести, слѣд. ослабленіе на мѣстѣ находящемся подъ широтой α равно

$$\frac{\cos.^2 a}{290} \text{ тяжести}$$

Для $a = 90$ будетъ $\cos.\alpha = 0$ т. е. ослабленіе тяжести $= 0$, что очевидно и само по себѣ, потому что подъ полюсами нѣтъ центробѣжной силы. Въ послѣдствіи мы увидимъ, что тяжесть подъ экваторомъ ослабляется еще отъ другой причины.

Законы центробѣжной силы объясняются на машинѣ называемой *центробпжною*.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

ОБЪ УДАРѢ ТѢЛЪ НЕ УПРУГИХЪ И УПРУГИХЪ.

§ 77.

Когда одно тѣло *неупругое* при движеніи своемъ ударяется объ другое, то послѣднее также приводится первымъ въ движеніе. Сперва представимъ себѣ два шара, изъ которыхъ одинъ A (фиг. 85) находится въ покоѣ, а другой B въ движеніи; послѣдній ударяется о покоющійся шаръ A, и притомъ такъ, что направленіе движенія центра одного шара проходитъ черезъ центр другаго; тогда ударъ называется *центральнымъ*. Очевидно, что дѣйствіе ударяющаго шара будетъ зависѣть отъ двухъ обстоятельствъ, отъ массы его и отъ скорости его движенія. Если объ шаръ A въ одномъ случаѣ ударяется шаръ въ 1 фунтъ и въ другомъ случаѣ шаръ въ 10 ф., то въ послѣднемъ случаѣ дѣйствіе будетъ въ 10 разъ больше, потому что каждая частица двигающейся массы дѣйствуетъ одинаковымъ образомъ. Если же ударяющій шаръ въ одномъ случаѣ имѣетъ скорость въ 10 разъ большую нежели въ другомъ, то и скорость покоющагося шара послѣ удара въ первомъ случаѣ будетъ въ 10 разъ больше скорости во второмъ. Когда же шаръ въ 10 разъ большій будетъ имѣть скорость въ 10 разъ большую, то очевидно, что дѣйствіе его будетъ въ 100 разъ больше дѣйствія другаго шара. По этому мы говиримъ, что если M означаетъ массу и C скорость ударяющагося шара, то дѣйствіе его изобразится произведеніемъ M.C, которое называется *моментомъ движенія*.

Теперь, чтобъ получить результатъ удара одного шара объ другой, мы разсмотримъ болѣе общій случай т. е.

предположимъ, что шаръ А передъ ударомъ не находится въ покоѣ, но также движется и притомъ или по одному направленію съ В, (слѣдовательно въ этомъ случаѣ В долженъ догнать шаръ А, чтобъ произвесть ударъ) или въ направленіи совершенно противоположномъ; но въ томъ и другомъ случаѣ мы допустимъ, что ударъ будетъ центральный. Въ первомъ случаѣ шары, послѣ того какъ В догонитъ А, будутъ двигаться вмѣстѣ съ одинаковою скоростію. Что бы найти эту скорость, назовемъ ее x; массу ударяющаго шара В означимъ черезъ М, скорость его черезъ С; массу ударяемаго шара А черезъ m а скорость черезъ c; Сумма моментовъ обоихъ шаровъ будетъ $MC+mc$; послѣ удара они двигутся дальше съ общею скоростію x; слѣд. моментъ обоихъ будетъ выраженъ черезъ $(M+m)\,x$, который долженъ быть равенъ суммѣ моментовъ обоихъ т. е.

$$(M+m)\,x = MC + mc.$$

Откуда получимъ: $x = \frac{MC+mc}{M+m}$ . . . . (A)

Если напр. масса шара В была 20 ф., скорость его 3 фута въ одну секунду, масса шара А 30 ф. а скорость 1 футъ въ секунду, то А скоро будетъ настигнутъ и тогда оба шара будутъ имѣть общую скорость:

$$x = \frac{20.3+30.1}{20+30} = \frac{90}{50} = 1\frac{4}{5} \text{ фута въ секунду.}$$

Если бы шаръ А прежде удара находился въ покоѣ, то мы въ нашей формулѣ (А) должны положить скорость $c=o$ и въ этомъ случаѣ мы получимъ:

$$x = \frac{M.C}{M+m}$$

Въ предъидущемъ примѣрѣ мы нашли бы

$$x = \frac{20.3}{20+30} = \frac{60}{50} = 1\frac{1}{5} \text{ въ одну секунду.}$$

Если бы движеніе обоихъ шаровъ было противоположное, то мы должны бы были вычесть одинъ моментъ изъ другаго, остатокъ былъ бы моментомъ обоихъ шаровъ и по предъидущему мы получили бы:

$$(M+m)\,x = MC - mc$$

$$x = \frac{MC-mc}{M+m}.$$

Этотъ результатъ мы могли бы получить непосредственно изъ прежней формулы (А), принявши c за отрицательную величину, что мы по справедливости могли бы сдѣлать, потому что движеніе одного шара совершенно противоположно движенію другаго, принятому нами за величину положительную

§ 78.

Найденные нами законы удара имѣютъ приложеніе въ практикѣ; напр. они могутъ быть употреблены для точнаго опредѣленія весьма большой скорости напр. той, съ которою пуля или ядро выходитъ изъ жерла огнестрѣльнаго орýжія—изъ ружья или изъ пушки. Положимъ что изъ пушки пускаютъ ядро однофунтовое въ подвижную массу вѣсомъ въ 1000 фунтовъ; пусть скорость пущеннаго ядра будетъ x, скорость пріобрѣтенная большею массою отъ удара брошеннаго ядра $=2$ фут.; по нашей формулѣ мы будемъ имѣть

$$2 = \frac{x.1}{1000+1}$$

откуда находимъ $x = 2002$

Итакъ для опредѣленія скорости ядра требуется только съ точностію измѣрить скорость большой массы, которую мы приняли $=2$ футамъ; а для этого нѣкоторые предполагали повѣсить большую массу подобно маятнику и судить о ско-

рости по углу, на который отклоняется этотъ маятникъ отъ удара, сообщеннаго пушечнымъ ядромъ. Подобнымъ образомъ нашли, что пушечное ядро въ одну секунду проходитъ отъ 1800 до 2400 фут., такъ велика скорость покрайнѣй мѣрѣ во время самаго выстрѣла.

Другая задача, относящаяся къ теоріи удара тѣлъ, представляется въ архитектурѣ. Извѣстно, что если хотятъ строить большія зданія, то ставятъ ихъ не на землѣ непосредственно, но на брусьяхъ или сваяхъ, вколоченныхъ перпендикулярно въ землю. Это производится посредствомъ бабы, т. е. посредствомъ тяжелой желѣзной массы, которая поднимается вверхъ на деревянномъ станкѣ и вдругъ опускается на верхній конецъ сваи; при этомъ замѣчаютъ какъ далеко входитъ въ землю свая при извѣстной высотѣ паденія бабы и при извѣстномъ числѣ ударовъ; а изъ этого можно узнать будутъ ли сваи въ состояніи, не входя больше въ землю, поддерживать тяжесть зданія, напередъ вычисленную. Это производится слѣдующимъ образомъ: положимъ что баба вѣситъ 3000 ф., свая 1000 ф. и что баба при каждомъ ударѣ падала на сваю съ высоты 4 футовъ и вогнала ее послѣ 50 ударовъ въ землю на $\frac{1}{2}$ дюйма, слѣд. для каждаго удара на $\frac{1}{100}$ дюйма или на $\frac{1}{1200}$ фута. Такъ какъ баба падала съ высоты 4 футовъ а свободно падающее тѣло проходитъ 16 футовъ въ одну секунду и такъ какъ времена паденія относятся какъ корни квадратные пройденныхъ пространствъ, то время паденія бабы было $\frac{1}{2}$ секунды и скорость ея въ концѣ паденія будетъ выражена формулою (§ 64)

$$v = gt$$

или въ нашемъ случаѣ $v = 32 \cdot \frac{1}{2} = 16$.

Скорость, съ которою баба и свая пошли бы дальше, выразится формулою:

$$x = \frac{M \cdot C}{M + m}$$

или въ нашемъ примѣрѣ

$$x = \frac{3000 \cdot 16}{3000 + 1000} = 12 \text{ фут.}$$

Съ такою скоростію входили бы и баба и свая вмѣстѣ, если бы не было сопротивленія отъ земли. Этимъ сопротивленіемъ скорость ихъ уничтожается уже послѣ движенія $= \frac{1}{1200}$ фут. Основываясь на правилѣ, которое мы имѣли для движенія вертикально брошенныхъ вверхъ тѣлъ, легко можемъ видѣть, что тяжесть тогда только можетъ уничтожить скорость въ 12 футовъ, когда тѣло поднимается на $\frac{9}{4}$ фут. или на $\frac{2700}{1200}$; (*); слѣд. земля оказываетъ сопротивленіе движенію 4000 фунтовой массѣ въ 2700 больше нежели самая тяжесть, слѣд. вѣсъ массы можетъ быть $2700 \times 4000 = 10800000$, дабы она начала преодолѣвать сопротивленіе земли; вотъ наибольшая масса, которая можетъ лежать на каждой сваѣ, не вгоняя ее въ землю.

Если тяжесть всего зданія, раздѣленная на число свай, не превышаетъ этого числа, то сопротивленіе свай достаточно; но въ практикѣ для безопасности берутъ тяжесть гораздо меньше той, которая по вычисленію соотвѣтствуетъ сваямъ.

§ 79.

Если ударяются другъ о друга *два шара упругіе*, то послѣдуетъ совсѣмъ другое явленіе, отличное отъ удара не упругихъ тѣлъ, потому что въ этомъ случаѣ вступаетъ въ

(*) Въ самомъ дѣлѣ мы получимъ изъ § 65 сію величину по формулѣ $v = \sqrt{2ge}$, откуда $e = \frac{v^2}{2g}$ и поставляя $v = 12$, и $g = 32$, получимъ $e = \frac{12^2}{64} = \frac{9}{4}$.

дѣйствіе новая сила,—упругость. Если шаръ (фиг. 86) A ударяется въ равный ему упругій покоющійся шаръ B, то отъ удара оба шара въ CD будутъ сжаты, такъ что часть CD получитъ плоскую поверхность. Еслибъ теперь оба шара перестали дѣйствовать другъ на друга, то они двигались бы впередъ, какъ неупругіе, со скоростію равною половинѣ первой: но сущность упругости въ томъ и состоитъ, что въ слѣдствіе ея сжатыя частицы возвращаются къ своей первоначальной формѣ, съ такою же силою, съ которою онѣ были сжаты т. е. съ силою удара. Слѣд. одна половина силы будетъ дѣйствовать на A, а другая на B. Такъ какъ шаръ A прежде отскакиванія назадъ двигался бы впередъ со скоростію равною половинѣ первоначальной скорости, а упругость влечетъ его назадъ съ тою же самою половинною скоростію, то онъ остается въ покоѣ.

Напротивъ того на шаръ B упругость дѣйствуетъ въ томъ же направленіи, въ которомъ онъ стремится пріити въ движеніе только въ слѣдствіе одного удара, и сообщитъ шару такое же движеніе безъ содѣйствія упругости, слѣд. B получитъ отъ шара A всю его скорость. И такъ послѣ удара A остается въ покоѣ, B двигается впередъ со скоростію шара A. Если два упругіе шара B и C (фиг. 87) равнаго діаметра лежатъ одинъ подлѣ другаго и ударяется объ нихъ третій равный имъ упругій шаръ A, въ направленіи ABC, то A остается въ покоѣ и передаетъ свою скорость шару B; B мгновенно ударяется о C, остается тоже въ покоѣ и побуждаетъ C двигаться впередъ съ своею скоростію. Еслибъ былъ цѣлый рядъ равныхъ упругихъ шаровъ находящихся въ прикосновеніи и имѣющихъ центры на одной прямой и объ первый изъ нихъ ударился бы такой же упругій шаръ и на той же прямой линіи, то всѣ шары остались бы въ покоѣ и только послѣдній двигался бы впередъ со скоростію ударяющаго шара. Легко можно сдѣлать опытъ для этаго на бильардѣ посредствомъ бильярдныхъ шаровъ изъ слоновой кости, которые могутъ почитаться совершенно упругими. Вообще бильярдная игра основана на ударѣ упругихъ шаровъ. Но обыкновенно доказывается это на машинѣ Гравезанда, собственно назначенной для этой цѣли. Въ ней на деревянномъ станкѣ MN (фиг. 88) привѣшено на нитяхъ много равныхъ шаровъ изъ слоновой кости A, B, C, D, E, такъ что центры ихъ лежатъ на одной прямой. Если шаръ A выведемъ изъ вертикальнаго положенія на уголъ AFG и потомъ оставимъ его, чтобъ онъ ударился въ B, то B, C, D остаются въ покоѣ а. только E будетъ двигаться поднимаясь на уголъ EHK равный углу AFG. Этимъ доказывается, какъ мы знаемъ изъ движенія маятника, что скорость, съ которою началъ двигаться E равна той, съ которою шаръ A ударяется въ B.

Когда бы два равные упругіе шара двигались съ одинаковою скоростію въ одинъ противъ другаго противномъ направленіи, то они послѣ удара остались бы въ покоѣ, еслибъ они послѣ сжатія, произведеннаго въ мѣстѣ прикосновенія, не расширялись. Но сжатыя частицы опять возвращаются назадъ съ всею силою, которою они были сжаты, и которая равна суммѣ моментовъ движенія обоихъ шаровъ, слѣд. каждый изъ нихъ будетъ увлеченъ назадъ половиною этой силы т. е. съ каждый шаръ такою же скоростію пойдетъ назадъ, которую онъ имѣлъ прежде удара.

Когда шаръ ударяется въ другой находящійся въ покоѣ или движущійся, и имѣющій отличную отъ перваго массу то посредствомъ довольно простыхъ разсужденій мы найдемъ послѣдующее отъ этого явленіе; прежде мы опредѣлимъ, какое произошло бы движеніе, еслибъ оба шара

были не упругіе; если сравнимъ это движеніе съ тѣмъ, которое шары имѣли до удара, то мы въ состояніи будемъ опредѣлить скорость движенія выигранную или потерянную каждымъ изъ нихъ отъ неупругаго удара. Такъ какъ въ упругихъ шарахъ эта потеря или выигрышъ происходитъ отъ сжатія въ мѣстахъ прикосновенія и сжатыя частицы отскакиваютъ назадъ съ такою же силою, которая произвела сжатіе, то каждый шаръ отъ дѣйствія упругости еще разъ, по одному и тому же направленію, столько же потеряетъ или выиграетъ въ своемъ движеніи; и если мы вычтемъ двойную потерю или двойный выигрышъ движенія изъ первоначальнаго движенія каждаго шара, то мы получимъ послѣдующее за ударомъ движеніе. Для примѣра предположимъ, что въ покоющійся шаръ вѣсомъ въ 1 ф. ударяется другой вѣсомъ въ 2 ф. со скоростію 3 футовъ въ секунду. Изъ формулы данной для удара неупругихъ тѣлъ мы знаемъ, что еслибъ оба шара были неупругіе, то они двигались бы съ общею скоростію $\frac{2.3}{2+1} = 2$. И такъ большій потерялъ 1 футъ своей скорости а меньшій выигралъ 2 фута. Отъ упругости это дѣйствіе удвоется; слѣд. вся потеря большаго шара $= 2$, а весь выигрышъ маньшаго $= 4$; и такъ большой шаръ будетъ двигаться со скоростію 1 фута, а меньшій со скоростію 4 футовъ, оба по направленію движенія большаго шара.

Еслибъ шаръ A въ 2 ф. со скоростію 3 футовъ столкнулся въ противномъ движеніи съ шаромъ B въ 1 ф., движущимся со скоростію 1 фут., то прежде дѣйствія упругости шары получили бы общую скорость $\frac{2.3 - 1.1}{2+1} = \frac{5}{3}$ фут. въ направленіи движенія большаго шара; слѣд. A потерялъ бы

$3 - \frac{5}{3} = \frac{4}{3}$ фут., а B вопервыхъ потерялъ бы свою прежнюю скорость 1 футъ и потомъ еще выигралъ бы $\frac{5}{3}$ фут. въ противоположномъ направленіи; слѣд. всю потерю можно положить равною $1 + \frac{5}{3} = \frac{8}{3}$. Упругость удвоетъ обѣ потери; слѣд. вся потеря шара A будетъ $= \frac{8}{3}$ шара, $B = \frac{16}{3}$; Слѣд. A будетъ двигаться со скоростію $3 - \frac{8}{3} = \frac{1}{3}$ фут., B пойдетъ назадъ по направленію, которое противоположно первоначальному, со скоростію $\frac{16}{3} - 1 = \frac{13}{3}$.

Если шары движущіеся на встрѣчу другъ другу равны, но A имѣлъ бы скорость 3 фута, а B 1 футъ, то общее ихъ движеніе безъ упругости было бы $= 1$ футу по направленію движенія A, слѣд. A потеряетъ 2 фута и B также 2 фут. Отъ упругости потеря обоихъ шаровъ удвоется, слѣд. оно для обоихъ $= 4$; итакъ A отскочетъ назадъ со скоростію 1 фут., а B со скоростію 3 фут. т. е. если два равные упругіе шара, двигающіеся съ различною скоростію, ударяются одинъ въ другой, то они отскакиваютъ назадъ мѣняясь своими скоростями.

§ 80.

Если ударъ не будетъ центральной, то вообще направленіе движенія будетъ составлять какой нибудь уголъ съ первоначальнымъ движеніемъ. Мы не станемъ подробно разсматривать каждый случай порознь, но займемся только однимъ именно тѣмъ, въ которомъ упругій шаръ ударяется въ плоскость подъ острымъ угломъ. Пусть A (фиг. 89) будетъ такой шаръ, двигающійся къ твердой

доскѣ MN со скоростію, которую мы выразимъ линіею BC. Линія CP есть перпендикуляръ къ MN. Представимъ себѣ, что въ то мгновеніе, когда шаръ доходитъ до C и когда скорость давитъ его противъ доски соотвѣтсвующею ей силою, скорость или давящая его сила BC разложена на FC и DC. Мы знаемъ что давленіе производимое силами DC и FC будетъ равно давленію производимому силою BC. Но давленіе DC совершенно уничтожается сопротивленіемъ доски, и когда шаръ отъ этого давленія будетъ сжатъ и потомъ отъ дѣйствія упругости съ такою же силою станетъ возвращаться къ первоначальному виду, то появляется сила отталкивающая шаръ отъ доски въ направленіи отъ C къ D, равная силѣ CD. Между тѣмъ сила FC не претерпѣла ни какого ослабленія, потому что она совершенно не дѣйствуетъ противъ доски. И такъ послѣ удара мы имѣемъ двѣ силы, дѣйствующія на шаръ, одну $CF' = FC$, а другую CD; онѣ могутъ быть сложены въ одну равнодѣйствующую CB'. Но такъ какъ прямоугольникъ CDB'F' равенъ прямоугольнику BFCD, а слѣдов. и половины ихъ т, е. треугольники BCD и DCB', то слѣдуетъ, что уголъ $BCD = B'CD$. Изъ этого мы видимъ, что, когда упругій шаръ бываетъ брошенъ противъ твердой стѣны подъ острымъ угломъ, то онъ отскакиваетъ отъ ней подъ тѣмъ же угломъ въ противоположную сторону.

§ 81.

Изложенные нами законы удара упругихъ тѣлъ часто имѣютъ приложеніе въ практикѣ. Между прочимъ по нимъ объясняется одно явленіе, которое безъ нихъ могло бы казаться загадочнымъ. Извѣстно, что въ каменоломняхъ употребляютъ для взрывовъ порохъ; для этого сверлятъ въ массѣ дыру, засыпаютъ въ нее извѣстное количесто пороху и тщательно забиваютъ клиномъ отверстіе, проводя чрезъ него трубку, въ которую вкладывается фитиль для зажиганія пороха. Нѣкто Іессонъ показалъ, что это тщательное забиваніе отверстія отнюдь не необходимо, но что совершенно можно достигнуть этой цѣли не употребляя клина, но засыпая отверстіе сухимъ пескомъ. При воспламененіи пороха песокъ не выбрасывается, какъ этого можно было ожидать, но порохъ скорѣе пробиваетъ камень. Изъ упругости песчинокъ достаточно объясняется это странное явленіе. Мы видѣли прежде, что если въ рядъ равныхъ упругихъ шаровъ, лежащихъ другъ подлѣ друга, ударяется другой шаръ, то всѣ средніе шары остаются въ покоѣ до послѣдняго, который движется впередъ со скоростію ударяющаго шара. Это явленіе имѣетъ мѣсто, какъ бы велика не была сила удара; и такъ мы здѣсь видимъ безконечно большое сопротивленіе, представляемое шариками свободно лежащими. Теперь представимъ себѣ, что песокъ составляетъ рядъ такихъ шаровъ,-предположеніе въ самомъ дѣлѣ по сущности вещества приличное; мгновенный ударъ пороха отброситъ только верхнія песчинки, между тѣмъ какъ нижнія останутся въ совершенномъ покоѣ и сила пороха преодолѣетъ сопротивленіе сцѣпленія частицъ камня прежде, нежели сопротивленіе упругихъ шариковъ.

ТРЕТЬЕ ОТДѢЛЕНІЕ.

О КАПЕЛЬНОЖИДКИХЪ ТѢЛАХЪ

(Гидростатика.)

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О равновѣсіи капельножидкихъ тѣлъ.

§ 82.

Мы уже видѣли прежде, что жидкія тѣла отличаются отъ твердыхъ тѣмъ, что частицы ихъ могутъ передвигаться съ мѣста на мѣсто отъ малѣйшей силы и даже отдѣлиться другъ отъ друга. Это свойство принадлежитъ такъ называемымъ капельнымъ и упругимъ тѣламъ; но они различаются между собою тѣмъ, что во первыхъ частицы не оказываютъ стремленія, ни отдаляться другъ отъ друга ни приближаться, но что для того и другаго случая потребна даже извѣстная сила. Напротивъ того упругія жидкости оказываютъ стремленіе отдалить частицы свои одну отъ другой какъ можно дальше и нужно употребить опредѣленную силу для того, чтобы удержать

ихъ въ извѣстномъ пространствѣ. Мы прежде станемъ заниматься капельными жидкими тѣлами.

Если цилиндръ A (фиг. 90) съ узкимъ и также цилиндрическимъ отверстіемъ, въ которомъ посредствомъ стержня DC можетъ двигаться массивный цилиндръ C, такъ чтобы между стѣнками его не проходило воды, (такой цилиндръ называется поршнемъ) совершенно наполнимъ водою и потомъ станемъ давить першень C, то частицы лежащія ближе всѣхъ отъ него будутъ давить на другія и каждая изъ нихъ стремиться втѣсниться между двумя слѣдующими; отъ этого онѣ необходимо производятъ давленіе во всѣ стороны. Итакъ мы получимъ законъ, весьма удобно согласуемый съ понятіемъ удободвижимости жидкихъ частицъ, на которомъ основывается вся теорія равновѣсія капельножидкихъ тѣлъ, или вся Гидростатика; онъ именно состоитъ въ томъ, что: *Если на какую нибудь частицу жидкой массы производится давленіе, то оно распространяется съ равною силою на всѣ частицы жидкости, вверхъ, внизъ и во всѣ стороны.*

И такъ если закрытый со всѣхъ сторонъ сосудъ ABCD (фиг. 91) совершенно наполнить водою и въ мѣстахъ M, N, O, P, Q поставить поршни, которыхъ основанія вездѣ равны, то при давленіи производимомъ на одинъ изъ нихъ, напр. M, силою равною 10 ф., всѣ другіе поршни съ равною силою будутъ выдавлены наружу, такъ что на каждый изъ нихъ нужно произвести давленіе силою 10 ф., чтобы удержать ихъ отъ движенія; слѣд. на два поршня вмѣстѣ, напр. на N и O, нужно заставить дѣйствовать силу 20 ф., на три силу 30 ф. и т. д. Тоже самое должно было бы сдѣлать, если бы поверхность одного поршня была вдвое, втрое и т. д. больше поверхности того поршня, на ко-

торый произведено первоначальное давленіе. И такъ давленіе пропорціонально поверхности и слѣд. если чрезъ p означимъ давленіе производимое на единицу поверхности, напр. на 1 квадр. футъ, то для поверхности m фут. давленіе должно быть выражено чрезъ pm.

§ 83.

Представимъ себѣ теперь какое нибудь количество жидкости, которой частицы, какъ и во всякомъ другомъ тѣлѣ, взаимно притягиваются; предположимъ во первыхъ, что на нихъ не дѣйствуетъ никакая другая сила. Въ этомъ случаѣ легко можно видѣть, что такая жидкая масса должна принять видъ шара для того, чтобы всѣ частицы находились въ равновѣсіи. Въ самомъ дѣлѣ представимъ себѣ массу ABC (фиг. 92) впрочемъ шарообразную, но въ которой частицы A были бы дальше отъ центра, нежели остальныя частицы поверхности напр. B. Мы выше уже видѣли, что когда шаръ притягиваетъ матеріяльную частицу, то онъ дѣйствуетъ такъ, какъ будто бы равнодѣйствующая всѣхъ притягательныхъ силъ находилась въ центрѣ шара. Если теперь представимъ себѣ столбъ ADF, отдѣленный отъ остальной массы, также и столбъ BDF, такъ чтобы оба они имѣли одно общее основаніе DF, то мы получимъ съ одной стороны давленіе, производимое притяженіемъ къ центру, частицъ столба DAF, а съ другой давленіе, производимое столбомъ BDF, и такъ какъ каждый распространяетъ свое давленіе одинаково во всѣ стороны, то давленіе столба DBF на основаніе DF будетъ дѣйствовать противоположно столбу AFD; но такъ какъ въ столбѣ AFD, по причинѣ большей высоты, число притягиваемыхъ частицъ больше, то и давленіе его будетъ больше давленія отъ B, или съ какой ни-

будь другой стороны поверхности шара; слѣдовательно равновѣсіе не будетъ имѣть мѣста. Итакъ жидкость AFBD, находящайся одна въ пространствѣ и не подверженная притяженію какого нибудь посторонняго тѣла, приметъ совершенно шарообразную форму, дабы находиться въ покоѣ. Если же такой шаръ AFBD обращается около оси AB (фиг. 93) то отъ этаго произойдетъ въ D и F центробѣжная сила, дѣйствующая противно тяжести; слѣдовательно тяжесть частицъ въ D и F будетъ уменьшена, а съ этимъ и давленіе ихъ, оказываемое ими на центръ, а тяжесть и давленіе частицъ A и B не измѣняются; слѣдовательно A и B должны понизиться противъ частицъ D и F, такъ что шаръ при равновѣсіи приметъ видъ сфероида A′F′B′D′. Хотя высота жидкаго столба CF′ больше высоты столба CA′, однако большая высота будетъ вознаграждена меньшею тяжестію и давленіе столбовъ на основаніе C одно и тоже.

Показанные нами законы имѣютъ приложеніе въ образованіи вида земнаго шара. Мы знаемъ, что большая часть поверхности его занята моремъ. Кромѣ того подробныя изслѣдованія состава земнаго черепа показали, что мы необходимо должны допустить, что вся земля первоначально была въ жидкомъ, именно въ расплавленномъ, состояніи. Такъ какъ кромѣ того она столько удалена отъ луны, солнца и другихъ планетъ, что притяженіе ихъ не можетъ имѣть значительнаго вліянія на форму ея, то она приняла видъ шара; а отъ обращенія ея около своей оси, діаметръ въ направленіи оси A′B′ долженъ быть меньше діаметра D′F′ экватора. Измѣренія въ самомъ дѣлѣ показали, что земля не есть совершенный шаръ, но представляетъ собою отступающій отъ шара сфероидъ, въ которомъ полярная ось вращенія = 1713, а ось экватора = 1719 географическимъ милямъ. Такъ какъ поверхность земли на эква-

торѣ отстоитъ отъ центра земли далѣе, нежели у полюсовъ, то тяжесть на экваторѣ должна быть меньше, нежели на полюсахъ. Итакъ это вторая причина, которая, вмѣстѣ съ центробѣжною силою (§ 76), уменьшаетъ тяжесть на экваторѣ противъ тяжести у полюсовъ.

§ 84.

Мы выше сказали, что земля столько удалена отъ солнца и луны, что влiянiе этихъ небесныхъ тѣлъ на ея видъ не значительно. Этого нельзя принимать во всей строгости, и по этому мы разсмотримъ подробнѣе, какимъ образомъ измѣняются явленiя отъ дѣйствiя посторонняго притягивающаго небеснаго тѣла на землю, которую мы представимъ себѣ во первыхъ еще какъ однообразно жидкую массу. Пусть ADBF (фиг. 94) будетъ земной шаръ, C центръ его, M центръ посторонняго притягивающаго небеснаго тѣла, напр. луны; въ этомъ центрѣ мы можемъ себѣ представить всю силу притягательную сосредоточенною. Какъ скоро M начнетъ дѣйствовать, то всѣ частицы земли будутъ притянуты къ M, но частица A сильнѣе частицы C, потому что A ближе находится къ M; по той же причинѣ C сильнѣе нежели B. Изъ этого легко можно видѣть, что шаръ долженъ перейти въ продолговатую фигуру BD′A′F′, такъ что обѣ точки B и A′ дальше будутъ отстоять отъ центра нежели D′ и F′. Если земля не состоитъ изъ равномѣрно жидкой массы, но имѣетъ твердое ядро, покрытое жидкимъ слоемъ BDAF, (фиг. 95) то и въ этомъ случаѣ въ ней будутъ имѣть мѣсто тѣже явленiя, какiя мы видѣли во всей жидкой массѣ, только съ тѣмъ различiемъ что твердое ядро останется неизмѣненнымъ, потому что частицы его G, лежащiя ближе къ M увлекаютъ съ собою дальнѣйшiя частицы K и замедляются ими, такъ что все ядро получаетъ среднее

движенiе, которое меньше движенiя жидкихъ частицъ въ B, но больше нежели въ A. Еслибы нѣкоторыя части ядра поднялись выше поверхности жидкости, какъ G, то на нихъ видно бы было повышенiе воды въ A и B и пониженiе въ D и F. Количество этого повышенiя и пониженiя воды будетъ зависѣть отъ двухъ обстоятельствъ: 1) Отъ массы тѣла M, слѣд. отъ силы притяженiя его и 2) отъ разстоянiя этого тѣла. Чѣмъ ближе оно находится къ землѣ, тѣмъ сильнѣе будетъ подниматься и понижаться слой воды, потому что тѣмъ значительнѣе будетъ разность притяженiй производимыхъ тѣломъ M на A и B и по предъидущему только отъ этой разности зависитъ все явленiе. Если тѣло M находится въ весьма большемъ разстоянiи, то разность отдаленiя частицъ A и B отъ M будетъ не значительна, а слѣдовательно и разность притяженiй, а по этому и самое явленiе будетъ очень слабо. Въ отношенiи изслѣдованнаго нами явленiя на земной шаръ производятъ замѣтное дѣйствiе только два небесныхъ тѣла, именно солнце и луна; первое дѣйствуетъ, не смотря на большое разстоянiе, въ слѣдствiе своей огромной массы, а послѣдняя, не смотря на малую массу свою, въ слѣдствiе не значительнаго разстоянiя отъ земли (*).

Если принять въ разсужденiе обѣ величины выражаемыя въ числахъ, то найдется, что луна въ $2\frac{1}{2}$ раза дѣйствуетъ сильнѣе солнца. Самое явленiе, происходящее отъ этого на землѣ, извѣстно подъ именемъ прилива и отлива; изъ вышесказаннаго слѣдуетъ, что оно преимущественно

(*) Масса солнца въ 355000 больше массы земли, а масса луны въ 88 разъ меньше. Среднее разстоянiе солнца отъ земли = 20666800 геогр. миль, среднее разстоянiе луны = 52000 геогр. миль, т. е. $\frac{1}{400}$ разстоянiя солнца.

зависитъ отъ положенія луны относительно земли. Когда луна проходитъ чрезъ меридіанъ или достигаетъ наибольшей высоты надъ горизонтомъ, то вода должна подняться выше береговъ т. е. въ этомъ мѣстѣ бываетъ приливъ; тоже самое должно происходить и у нашихъ антиподовъ. Напротивъ когда луна будетъ находиться въ самомъ горизонтѣ, то должно произойти пониженіе воды или отливъ. Такъ какъ, по причинѣ обращенія земли и по причинѣ собственнаго движенія, луна для достиженія самой большей высоты надъ горизонтомъ требуетъ, отъ одного дня до другаго ближайшаго, 24 час. и 50 минутъ, то въ продолженіе этого періода два раза долженъ быть приливъ и два раза отливъ, приливъ тогда, когда луна находится на большей высотѣ у насъ или у нашихъ антиподовъ, отливъ, когда она находится въ горизонтѣ къ востоку отъ насъ или къ западу; и такъ если бы у насъ сего дня въ 12 часовъ въ полдень былъ самый высокій приливъ, то завтра онъ послѣдовалъ бы 50 минутами позже, послѣ завтра 1 час. и 40-ми позже и т. д.; не много больше нежели чрезъ 6 часовъ послѣ прилива послѣдуетъ отливъ, потомъ опять приливъ, и опять отливъ. Такимъ образомъ всегда послѣ 6 часовъ съ небольшимъ приливъ и отливъ перемежаются. Это явленіе замѣчается въ самомъ дѣлѣ у всѣхъ береговъ большихъ океановъ, но въ малыхъ отдѣльныхъ моряхъ они незамѣтны напр. въ Балтійскомъ морѣ.

Только въ одномъ отношеніи приливы и отливы не соглашаются съ теоріею, именно въ томъ, что приливъ случается не въ то самое время, когда луна проходитъ чрезъ меридіанъ, но спустя нѣсколько часовъ. Это очевидно зависитъ отъ того, что вода требуетъ нѣкотораго

времени для того, чтобы принимать то движеніе, которое ей сообщается.

Подобные приливы производитъ и солнце, но такъ какъ они слабѣе, то и дѣлаются не примѣтными отъ дѣйствія приливовъ, производимыхъ луною; но вліяніе ихъ доказывается тѣмъ, что, когда солнце и луна дѣйствуютъ съ одной стороны т. е. оба находятся по одну сторону или стоятъ съ противоположныхъ сторонъ, приливы бываютъ гораздо выше, нежели когда *дѣйствіе* этихъ небесныхъ тѣлъ противоположно, т. е. когда одно изъ нихъ находится на меридіанѣ, а другое въ горизонтѣ. Но такъ какъ въ первомъ положеніи солнце и луна находятся во время новолунія и полнолунія или въ *Сизигіевыхъ узлахъ*, а въ послѣднемъ во время первой и послѣдней четверти луны или во время *квадратуръ*, то на этомъ и основывается наблюденіе, что во время сизигіевыхъ узловъ приливы бываютъ самые большіе, напротивъ во время квадратуръ самые меньшіе. Наконецъ должно еще замѣтить, что это явленіе со всею правильностію тогда происходило бы, когдабы вся поверхность земли была покрыта водою; но такъ какъ это не имѣетъ мѣста въ природѣ, то явленіе претерпѣваетъ значительное измѣненіе въ томъ, что *часы появленія* приливовъ бываютъ различны въ различныхъ гаваняхъ, пристаняхъ и портахъ, между тѣмъ какъ *періоды* ихъ всегда равны.

§ 85.

Обращаясь теперь къ другимъ явленіямъ Гидростатики, посмотримъ какое приметъ положеніе жидкая масса, находящаяся на поверхности земли, гдѣ слѣд. тяжесть вле-

четъ всѣ частицы къ центру земли. Мы уже видѣли, что, по причинѣ отдаленности центра земли, направленія притяженія частицъ могутъ быть приняты за параллельныя. Такъ какъ частицы могутъ свободно двигаться, то каждая изъ нихъ опустится внизъ до такой глубины, до которой она можетъ и слѣд. жидкость распространилась бы по поверхности земной въ видѣ тонкаго слоя. Итакъ мы можемъ сохранять какую нибудь жидкость только въ сосудахъ, которыхъ стѣнки не даютъ частицамъ распространяться далѣе. Пусть ABCD (фиг. 96) будетъ такой сосудъ съ жидкостію; легко можно видѣть, что поверхность жидкости, если она находится въ покоѣ, должна образовать горизонтальную плоскость. Въ самомъ дѣлѣ пусть K будетъ какая нибудь частица жидкости, лежащая выше этой плоскости. Представимъ себѣ столбъ KH жидкости отдѣленнымъ; тяжесть столба производитъ на нижнія частицы воды давленіе, распространяющееся во всѣ стороны слѣд. и въ бока; отъ этого какая нибудь частица, лежащая на днѣ будетъ силиться уклониться въ сторону и можетъ быть удержана только въ томъ случаѣ, когда частицы жидкости, лежащія возлѣ ея, произведутъ на нее такое же сильное давленіе въ противную сторону; но такъ какъ давленіе отъ HK больше давленія производимаго другими столбами по причинѣ выдающейся частицы K, то равновѣсіе быть не можетъ. Подобнымъ образомъ можно доказать невозможность равновѣсія и для другой выдающейся частицы, слѣдовательно при равновѣсіи необходимо нужно, чтобы поверхность жидкости была горизонтальна.

Возмемъ опять сосудъ ABCD (фиг. 97) заключающій въ себѣ воду, которая находится въ равновѣсіи и которой слѣд. поверхность MN горизонтальна. Если мы отдѣлимъ отъ этой жидкой массы мысленно часть *abcdf*, совершенно неправильную, то давленіе этой части и остальной жидкости другъ на друга должны быть равны во всѣхъ пограничныхъ точкахъ *abcdf*, потому что иначе вся жидкость не могла бы оставаться въ равновѣсіи. И такъ если мы вмѣсто отдѣленной жидкой части представимъ себѣ другую совершенно того же вида и которая бы производила на остальную воду тоже давленіе, какое оказывала масса *abcdf*, то равновѣсіе всегда будетъ имѣть мѣсто; такъ напр. если бы мы представили себѣ вмѣсто массы *abcdf* твердую прегдару той же формы, которая по причинѣ твердости моглабы выдержать даже и сильнѣйшее давленіе. Въ такомъ случаѣ мы можемъ принимать какъ будто оставшаяся масса жидкости заключается въ двухъ сосудахъ BM*abc*, и CN*fdc* сообщающихся между собою въ *c*. Такимъ образомъ мы доходимъ до заключенія, что въ двухъ сообщающихся между собою сосудахъ жидкость находится въ равновѣсіи тогда, когда высоты ея въ обоихъ равны, какую бы форму ни имѣли стѣнки сосудовъ.

Итакъ если сосудъ ABFD, сообщается съ сосудомъ GCK (фиг. 98) посредствомъ трубки DK и въ одинъ изъ нихъ мы станемъ наливать воду, то равновѣсіе возстановится тогда, когда поверхности AB и C будутъ лежать въ одной горизонтальной плоскости. Если возмемъ поперечный разрѣзъ M соединяющей трубки, то на него съ одной стороны будетъ производить давленіе тяжесть воды ABFDM, а съ другой тяжесть CGM; такъ какъ при этомъ равновѣсіе имѣемъ мѣсто, то необходимо давленія съ той и другой стороны должны быть равны. Итакъ давленіе, производимое на одну и туже поверхность зависитъ только отъ высоты жидкости надъ этою поверхностью, потому что только высота одна равна въ обоихъ сосудахъ, но отнюдь не зависитъ отъ вида вмѣстилищъ. Если въ трехъ

сосудахъ I, II, III (фиг. 99) дно одинаковой величины, т. е. AB = FG = HK и во всѣхъ трехъ вода стоитъ на одинаковой высотѣ, то давленіе на дно будетъ совершенно одинаковое, не смотря на то, что въ I сосудѣ воды меньше, нежели во II, а въ III еще меньше, нежели въ I. Слѣд. въ какомъ ни есть сосудѣ давленіе на дно равно давленію на такое же дно въ сосудѣ съ вертикальными стѣнками.

Если теперь мы поставимъ всѣ три сосуда на чашки вѣсовъ, и опредѣлимъ вѣсъ жидкости въ каждомъ изъ нихъ, то найдемъ что II вѣситъ больше всѣхъ, I больше III, хотя давленіе на дно во всѣхъ трехъ одинаково. Причину этого не трудно видѣть; жидкость въ сосудѣ II производитъ давленіе на стѣнки его LF и MG сверху внизъ и это давленіе дѣйствуетъ также и на чашки вѣсовъ, потому что стѣнки сосуда соединены съ дномъ его; напротивъ въ сосудѣ III давленіе дѣйствуетъ на стѣнки снизу вверхъ и на чашкѣ уменьшаетъ давленіе, производимое на дно такъ, что вѣсъ его будетъ меньше вѣса сосуда I. Только въ I и вѣсъ жидкости и давленіе на дно равны между собою; въ II вѣсъ больше давленія, въ III давленіе больше вѣса.

Итакъ въ сосудѣ съ отвѣсными стѣнками давленіе равно вѣсу заключающейся въ немъ жидкости. Если бы дно такого сосуда было = 1 квадратному футу, а высота его = 4 футамъ, то объемъ жидкости былъ бы 4 кубическихъ фута, а такъ какъ кубическій футъ чистой воды вѣситъ почти 69 фунтовъ, то давленіе на дно было бы 276 фунтовъ. — Еслибъ въ такомъ сосудѣ дно имѣло b квадратныхъ футовъ, а высота была h футовъ, то вѣсъ жидкости и слѣд. давленіе было бы равно $69.h.b.$ Еслибы вмѣсто воды была употреблена другая жидкость, которой плотность въ d разъ больше плотности воды, то и давленіе на дно было бы во

столько же разъ больше. Итакъ если черезъ p означимъ давленіе на дно и черезъ q вѣсъ одной кубической единицы воды, посредствомъ которой производится измѣреніе, то получимъ p посредствомъ слѣд. уравненія:

$$p = q.\ h.\ b.\ d.$$

Напр. еслибъ въ стеклянную трубку, которой дно равно одному квадратному дюйму, мы налили ртути до высоты 30 дюймовъ, то мы нашли бы давленіе p, перемножая величины q т. е. вѣсъ кубическаго дюйма воды = 3,84 золотн. на $h = 30$, $b = 1$ и $d = 13,6$ (плотность ртути въ отношеніи къ водѣ) и мы получили бы:

$$p = 3,84 \times 30 \times 1 \times 13,6 = 1566,7 \text{ золотн.} = 16\frac{1}{3} \text{ фунт.}$$

Таково должно быть давленіе на дно трубки, какого бы вида ни были стѣнки ея.

§ 86.

Теперь пусть цилиндръ AF (фиг. 100) находится въ сообщеніи съ широкимъ цилиндромъ BCGK, посредствомъ трубки FG; и пусть широкій цилиндръ будетъ закрытъ въ BC пластинкою, а пространство BC до A наполнено водою, такъ чтобы вода стояла въ узкой трубкѣ выше, нежели въ широкомъ сосудѣ количествомъ DA, то производится давленіе на пластинку, которое легко можно вычислить. Въ самомъ дѣлѣ по предъидущему равновѣсіе было бы тогда, когда короткая часть сдѣлалась бы длиннѣе и въ нее прибавилось бы такое количество воды, чтобъ поверхность ея MN была въ одной плоскости съ A. Итакъ если и безъ этого удлиненія равновѣсіе должно имѣть мѣсто, то, для удержанія въ равновѣсіи распространившагося снизу давленія, пластинка BC должна произвести давленіе, которое про-

изошло бы отъ массы MNBC; слѣд. это давленіе выразится вѣсомъ массы MNBC. По этому, если высоту BM или AD означимъ черезъ h, поверхность пластинки BC черезъ b, то давленіе на BC будетъ равно $h.b$. Но давленіе на D равно $h.b'$, если b' означаетъ поверхность D; по этому давленіе, производимое на D, увеличивается на поверхности BC въ содержаніи $b':b$. Если бы напр. въ узкомъ цилиндрѣ (фиг. 101) могъ двигаться плотный поршень A, и въ широкомъ поршень B и если бы поверхность поршня A относилась къ поверхности поршня B какъ 1 : 10, то одинъ фунтъ положенный на A уравновѣсилъ бы 10 ф. лежащихъ на B. Таковой приборъ дѣйствуетъ, точно какъ машина; но и здѣсь входитъ тоже обстоятельство, которое мы уже видѣли въ машинахъ; оно состоитъ въ томъ, что когда отъ давленія, производимаго на A, поршень A въ одну секунду понизится напр. на 1 футъ, то поршень B поднимается только на $\frac{1}{10}$ фута, потому что вода, которая при давленіи на A понизилась на одинъ футъ, поднимаетъ B потому только, что она занимаетъ то пространство, на которое B повысится и высота этого пространства должна быть въ 10 разъ меньше, потому что поперечное сѣченіе его въ 10 разъ больше.

Эту машину обыкновенно употребляютъ для сжиманія; для этого въ C кладутъ доску DE, на нее кладутъ товаръ, который нужно сжать, напр. тюкъ M хлопчатой бумаги, и подниманіемъ доски DE придавливаютъ его къ доскѣ FG, твердо укрѣпленной. На A обыкновенно дѣйствуютъ посредствомъ рычага втораго рода KL, котораго точка опоры находится въ K. Если имѣетъ мѣсто отношеніе

KN : KL = 1 : 10, то 1 ф. въ L произведетъ на N давленіе равное 10 ф., а это давленіе при B сдѣлается еще въ 10 разъ больше, такъ что по этому 1 ф. въ L произведетъ въ B давленіе 100 фунтовъ. Итакъ если кто нибудь производитъ въ L давленіе силою равною 100 ф., что вовсе не трудно, то онъ будетъ давить доску съ силою 10000 ф. Этотъ прессъ называется *Гидравлическимъ прессомъ*.

§ 87.

Если въ изогнутую трубку MPN (фиг. 102) прежде въ конецъ M нальемъ ртути, а потомъ въ конецъ N воды, то при равновѣсіи поверхность воды въ C будетъ находиться выше, нежели поверхность ртути и можно вывести въ какомъ содержаніи выше. Пусть будетъ B поверхность ртути въ одной половинѣ трубки, такъ что пространство отъ A до B наполнено ртутью, а отъ B до C водою; представимъ себѣ, что горизонтальная поверхность B продолжена такъ, что бы она пересѣкла другую вѣтвь трубки въ B′; въ такомъ случаѣ B′PB наполнено ртутью и слѣд. въ ней имѣетъ мѣсто равновѣсіе, какъ мы уже доказали это для однородной жидкости. Если тогда столбъ ртути AB′ долженъ находиться въ равновѣсіи со столбомъ воды BC, то давленіе, производимое AB′, которое распространяется до B дѣйствуя снизу вверхъ, должно быть равно давленію BC. Если положимъ $AB' = h'$, и означимъ плотность ртути черезъ d, BC черезъ h, плотность воды черезъ 1, а черезъ q вѣсъ кубической единицы воды, то давленіе производимое ртутью на B будетъ равно $h'.d.b.q$ и давленіе водянаго столба $h.1.b.q$, слѣд.

$$h'.d.b.q = h.1.b.q.$$

или $h'd = h.1$

откуда слѣдуетъ $h' : h = 1 : d$.

т. е. высоты этихъ жидкостей будутъ обратно пропорціональны плотностямъ. Этотъ законъ даетъ средство опредѣлять плотность такихъ жидкостей, которыя не смѣшиваются; для этого нужно только вливать каждую жидкость въ вѣтвь такой трубки, и измѣрять высоты h и h', которыя обратно пропорціональны плотностямъ.

§ 88.

Если въ сосудѣ ABCD какая нибудь жидкость находится въ покоѣ, такъ что она образуетъ поверхность MN (фиг. 103), то по предъидущему каждый горизонтальный слой напр. *ab* подверженъ во всѣхъ своихъ частяхъ одинаковому давленію, зависящему отъ высоты *a*M, на которой стоитъ жидкость надъ слоемъ. Это давленіе производится на частицы слоя не только внизъ, но по общему началу Гидростатики, во всѣ стороны съ одинаковою силою; отсюда происходитъ очевидно давленіе на стѣнки сосуда при *a* въ направленіи *ba*, при *b* въ направленіи *ab*; такъ какъ обѣ стѣнки сосуда подвержены одинаковымъ и противоположнымъ давленіямъ со стороны слоя *ab* и со стороны другихъ слоевъ, то сосудъ не можетъ быть сдвинутъ съ своего мѣста давленіемъ, производимымъ на его стѣнки. Если же при *b* сдѣлаемъ отверстіе въ сосудѣ, то частицы жидкости *ab* отъ давленія при *b* будутъ вытекать и давленіе въ этомъ мѣстѣ прекращается, между тѣмъ какъ при *a* оно дѣйствуетъ съ прежнею силою и слѣд. если сосудъ свободно можетъ перемѣнять свое мѣсто, то онъ подвинется по направленію *ad*. Для доказательства сего употребляется приборъ, извѣстный подъ именемъ *Сегнерова*

(Segner) колеса. Онъ состоитъ изъ сосуда ABCD, (фиг. 104. I), изъ котораго внизу выходятъ четыре трубки, на концахъ закрытыя, но имѣющія въ бокахъ отверстія, всѣ обращенныя въ одну сторону, *a. b. c. d.* (какъ показываетъ фигура II). Снизу и сверху сосудъ покоится на остроконечіяхъ *m* и *n*, на которыхъ онъ можетъ вертѣться около оси *mn*. Если наполнять его водою, то она будетъ выливаться черезъ всѣ отверстія и произведетъ давленіе на стѣнки трубочекъ, противоположныя отверстіямъ; отъ этого трубочки будутъ двигаться по направленію, показанному стрѣлкою и весь сосудъ будетъ вертѣться около оси *mn* до тѣхъ поръ, пока не вытечетъ изъ него вся жидкость.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О РАВНОВѢСІИ ТВЕРДЫХЪ ТѢЛЪ, ПОГРУЖЕННЫХЪ ВЪ ЖИДКОСТИ.

§ 89.

Пусть ACDB представляетъ сосудъ (фиг. 105) заключающій въ себѣ какую нибудь жидкость, напр. воду. Отдѣлимъ мысленно отъ этой жидкости одну часть *abcd* какой угодно формы. Эта часть несмотря на свой вѣсъ остается на своемъ мѣстѣ только потому, что удерживается окружающею ее жидкостію, т. е. что на нее дѣйствуетъ снизу вверхъ сила, происходящая отъ давленія жидкости со всѣхъ сторонъ и совершенно равная вѣсу *abcd*. Если бы на мѣстѣ водяной массы *abcd* находилось твердое тѣло такого же объема и такого же вѣса, то и

оно осталось бы въ покоѣ, потому что въ отношеніи давленія оно находится въ тѣхъ же обстоятельствахъ, въ какихъ и $abcd$. Если бы твердое тѣло было плотнѣе водяной массы $abcd$, при одинаковомъ объемѣ, то вѣсъ его дѣйствующій сверху внизъ былъ бы больше, нежели давленіе воды дѣйствующей снизу вверхъ и такъ тѣло должно бы было погружаться въ воду до самаго дна; но оно начало бы опускаться не съ такою силою, съ которою оно падало бы въ пустомъ пространствѣ, но съ силою равною разности его вѣса и вѣса воды при одномъ объемѣ. Итакъ если бы P былъ вѣсъ тѣла, а Q вѣсъ равнаго объема воды, то оно опускалось бы отъ дѣйствія силы $P - Q$, и чтобы не дать ему опускаться, то нужно бы было, привязавъ его на нить, удерживать силою равною $P - Q$. Изъ этого видно, что твердое тѣло, которое тяжелѣе жидкости, при погруженіи въ нее *теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вода, вытѣсненная имъ изъ своего мѣста.* Если тѣло, занимающее мѣсто $abcd$, легче воды, то давленіе снизу вверхъ будетъ больше давленія сверху внизъ (т. е. вѣса тѣла) и тѣло поднялось бы изъ воды до поверхности ея и еще выше; и легко опредѣлить на сколько. Въ самомъ дѣлѣ пусть тѣло находится въ равновѣсіи въ положеніи $a'b'c'd'$; представимъ себѣ что поверхность MN при продолженіи своемъ пересѣкаетъ тѣло, какъ показываетъ fg; если бы въ $fgd'c'$ была вода, то равновѣсіе имѣло бы мѣсто; но такъ какъ по предположенію и $a'b'c'd'$ находится въ равновѣсіи, то вѣсъ его долженъ быть равенъ вѣсу объема воды $fgd'c'$; изъ этого мы выводимъ законъ, что если тѣло легче воды, то оно поднимается надъ поверхностію ея и приходитъ въ равновѣсіе только тогда, *когда вѣсъ его будетъ равенъ вѣсу воды, вытѣсненной погруженною частію его.*

§ 90.

Пусть ABCD будетъ сосудъ съ жидкостію, которой поверхность есть MN (фиг. 106); погрузимъ въ жидкость деревянный параллелепипедъ, такъ что бы весь вѣсъ его былъ равенъ вѣсу вытѣсненной имъ жидкости $fgcd$, тогда по предъидущему параллелепипедъ будетъ плавать на водѣ, но опытъ научаетъ, что онъ въ этомъ положеніи не можетъ оставатся въ покоѣ, но переворачивается на сторону. Въ самомъ дѣлѣ мы знаемъ, что тѣло потому только плаваетъ, что давленіе производимое имъ внизъ уравновѣшивается давленіемъ воды вверхъ; послѣднее во всемъ равно давленію вытѣсненной воды $fgcd$, но только оно производится по направленію не внизъ, но вверхъ. Сила тяжести всѣхъ частицъ вытѣсненной массы воды можетъ быть замѣнена одною равнодѣйствующею, которая равна суммѣ тяжестей всѣхъ частицъ и можетъ быть представлена сосредоточенною въ центрѣ тяжести воды $fgcd$. Слѣд. и равнодѣйствующая всего давленія воды на тѣло $abcd$ также можетъ быть замѣнена одною силою, которая дѣйствуетъ на точку n вверхъ. Такимъ же образомъ вѣсъ тѣла, противодѣйствующій этой силѣ, можно представить себѣ сосредоточеннымъ въ центрѣ тяжести его m. Итакъ на тѣло дѣйствуютъ 2 равныя силы одна въ m внизъ, другая въ n вверхъ. Когда n лежитъ ниже m, то онѣ будутъ въ неустойчивомъ равновѣсіи; ибо какъ скоро тѣло немного перемѣняетъ свое положеніе, какъ напр. $a'b'c'd'$, то очевидно, что центръ тяжести вытѣсненной воды, хотя онъ измѣняетъ свое положеніе при измѣненіи вида погруженной части въ положеніяхъ $abcd$ и $a'b'c'd'$, но онъ при всемъ томъ будетъ находиться въ право отъ n, напр. въ n'. Слѣд. тѣло одною силою влечется внизъ отъ m, а другою вверхъ отъ n' и по этому должно вертѣть

ся. Совсѣмъ другое было бы явленіе, если бы центръ тяжести тѣла находился *подъ* центромъ тяжести вытесненной воды, если бы напр. первый былъ въ n, а послѣдній въ m; тогда на тѣло въ положеніи $a'b'c'd'$ дѣйствовала бы сила въ m вверхъ, а въ n внизъ; слѣд. оно само собою приходило бы въ первоначальное положеніе $abcd$; итакъ мы получимъ устойчивое равновѣсіе плавающаго тѣла. Въ этомъ то состоитъ причина почему въ тѣлахъ, которые должны стоймя плавать на водѣ, центръ тяжести долженъ лежать какъ можно ниже; этого достигаютъ черезъ соединеніе основанія такихъ тѣлъ съ плотнѣйшимъ тѣломъ. По этому на короблях самыя нижнія части близко отъ киля нагружаютъ желѣзнымъ балластомъ; чѣмъ болѣе отъ этого понижается центръ тяжести всего корабля, тѣмъ менѣе онъ бываетъ шаткимъ, когда на него со стороны дѣйствуютъ вѣтры и волны, и тѣмъ менѣе онъ подверженъ качкѣ. По этому если нужно, что бы деревянная палка плавала вертикально на водѣ, то къ нижней части ея присоединяется свинцовая масса.

§ 91.

Выведенный нами (§ 90) законъ, состоящій въ томъ, что каждое тѣло, тяжелѣйшее воды, при погруженіи теряетъ столько въ своемъ вѣсѣ, сколько вѣситъ объемъ вытѣсненной воды, имѣетъ весьма важное приложеніе въ опредѣленіи плотности или удѣльнаго вѣса тѣлъ. Представимъ себѣ вѣсы ACB (фиг. 107); къ одной чашкѣ ихъ прикрѣпленъ крючекъ, на который посредствомъ тонкой проволоки или волоса привѣшивается тѣло, подвергаемое опыту; для примѣра положимъ, что это есть свинцовый шаръ K; но прежде всего на чашку E кладутъ тяжести до тѣхъ поръ

пока чашка D, вмѣстѣ съ проволокою или съ волосомъ, не будетъ уравновѣшена. Привѣсивъ шаръ къ чашкѣ D, прибавляютъ на E для равновѣсія тяжести, которыя по этому покажутъ вѣсъ шара. Предположимъ, что онъ $=$ P. Подъ чашкою D ставятъ стаканъ MGN наполненный чистою водою, такъ чтобы шаръ K висѣлъ въ водѣ. Отъ этого онъ сдѣлается легче и нужно будетъ снять съ чашки E нѣсколько тяжестей, такъ что при равновѣсіи останется вѣсъ Q. И такъ шаръ потерялъ въ своемъ вѣсѣ P—Q. По предъидущему закону потеря эта равна вѣсу воды вытѣсненной шаромъ: и такъ мы знаемъ, что водяной шаръ одного объема съ K вѣситъ P—Q, а свинцовый шаръ вѣситъ P. Но такъ какъ отношеніе вѣса какого нибудь тѣла къ вѣсу одинаковаго объема воды, принимаемой за единицу, называется удѣльнымъ вѣсомъ тѣла (§ 14) то, означивъ чрезъ Δ удѣльный вѣсъ свинца, получимъ $\Delta = \frac{P}{P-Q}$.

§ 92.

Этотъ способъ опредѣленія удѣльнаго вѣса, какъ видно, весьма простъ, особенно если не нужно большой точности. Но когда требуется строгая точность, то мы должны обращать вниманіе на нѣкоторыя обстоятельства, имѣющія существенное вліяніе на получаемый результатъ. Во первыхъ видно, что въ приведенномъ опытѣ мы получаемъ удѣльный вѣсъ относительно той воды, которая употреблялась. Но плотность воды, даже самой чистой, дистиллированной, бываетъ различна по различію температуры ея; физики согласились принять за единицу плотность воды при температурѣ 3,2 по нашему термометру Реомюра. И такъ если вода, употребляемая нами въ опытѣ, была те-

плѣе, — отъ чего и удѣльный вѣсъ ея сдѣлался меньше, наприм. 0,99 вмѣсто 1, — то мы въ приведенномъ примѣрѣ сдѣлали ошибку, принявши за единицу величину, которая была только $\frac{99}{100}$ настоящей единицы; но мы можемъ вывесть изъ полученнаго удѣльнаго вѣса Δ истинный удѣльный вѣсъ Δ' посредствомъ пропорціи:

$$0,99 : 1 = \Delta' : \Delta.$$

Въ самомъ дѣлѣ плотность должна содержать во столько единицъ меньше, во сколько разъ увеличилась сама единица. Слѣд. мы получимъ

$$\Delta' = 0,99 \times \Delta.$$

т. е. для опредѣленія истиннаго удѣльнаго вѣса нужно умножить найденный посредствомъ опыта на удѣльный вѣсъ употребляемой воды, который мы знаемъ изъ таблицъ, составленныхъ для этой цѣли; нужно только опредѣлить температуру воды. — Мы скоро увидимъ, какъ вычисляются эти таблицы плотности воды при разныхъ температурахъ.

Кромѣ этой важной поправки мы должны дѣлать еще другія, о которыхъ мы здѣсь, не входя въ подробности, только упомянемъ. — Онѣ относятся во первыхъ къ температурѣ самаго тѣла измѣняющей плотность его; по этому, если мы говоримъ объ удѣльномъ вѣсѣ какого нибудь тѣла, то мы должны всегда разумѣть, что онъ относится къ опредѣленной температурѣ, за которую обыкновенно принимаютъ температуру 0, при которой вода начинаетъ замерзать. Но такъ какъ тѣла при взвѣшиваніи обыкновенно имѣютъ температуру отличную отъ 0, то для этаго должно сдѣлать поправку, зависящую отъ расширенія тѣлъ производимаго теплотою, о которомъ мы будемъ говорить послѣ. Еще одну поправку нужно дѣлать потому, что мы взвѣшиваемъ всѣ тѣла въ воздухѣ, который такъ же есть тяжелая жидкость, какъ мы увидимъ послѣ; слѣдовательно въ немъ всякое тѣло вѣситъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше вѣсъ вытѣсненнаго воздуха. Такъ какъ воздухъ въ 770 разъ легче воды, то мы видимъ, что потеря вѣса въ воздухѣ весьма не значительна; но если требуется строгая точность, то при всякомъ взвѣшиваніи нужно дѣлать эту поправку, посредствомъ которой мы находимъ вѣсъ тѣла въ пустомъ пространствѣ, и которая дѣлается еще сложнѣе отъ того, что плотность воздуха измѣняется съ измѣненіемъ состоянія термометра и барометра. Наконецъ третья поправка относится къ тому, что волосъ, за который привѣшивается тѣло, при погруженіи его въ жидкость, тоже теряетъ нѣсколько изъ своего вѣсу; эту потерю нужно опредѣлить предварительно.

§ 93.

Вѣсы, употребляемые при подобныхъ взвѣшиваніяхъ въ водѣ и называемые *гидростатическими*, до сихъ поръ служили намъ только къ опредѣленію плотности тѣлъ, которые плотнѣе воды. Для легчайшихъ тѣлъ они не могутъ быть употребляемы, потому что эти тѣла, напр. кусокъ дерева, не будутъ тянуть внизъ чашку вѣсовъ, когда они будутъ погружены въ воду, но будутъ плавать на поверхности воды. Чтобы помочь этому неудобству соединяютъ деревянный кусокъ съ тяжелымъ тѣломъ, напр. съ кускомъ свинца такой величины, чтобы онъ увлекалъ съ собою и дерево внизъ. Сперва взвѣшиваютъ оба тѣла въ воздухѣ и получаютъ P, потомъ въ водѣ и получаютъ Q, потомъ отдѣляютъ свинецъ отъ дерева и взвѣшиваютъ

его отдѣльно; пусть вѣсъ его будетъ p; наконецъ взвѣшивая его въ водѣ получаютъ q. Тогда будетъ $P - p$ вѣсъ дерева въ воздухѣ и $Q - q$ вѣсъ его въ водѣ; (здѣсь будетъ $Q < q$ и слѣдовательно послѣдняя величина есть отрицательная, ибо какъ дерево въ водѣ поднимается вверхъ, то дерево и свинецъ вмѣстѣ будутъ легче въ водѣ нежели одинъ свинецъ отдѣльно). Слѣдовательно потеря дерева въ водѣ или вѣсъ равнаго объема воды $= P - p - (Q - q)$ и такъ относительный вѣсъ дерева будетъ:

$$\Delta = \frac{P - p}{P - p - Q + q}.$$

Положимъ напримѣръ, что свинецъ въ воздухѣ вѣситъ 1 фунтъ, дерево также одинъ фунтъ, а въ водѣ свинецъ и дерево вмѣстѣ 0,9 свинецъ одинъ 0,95, тогда для нашей формулы мы имѣемъ:

$P = 2,\ p = 1,\ \ Q = 0,9,\ \ q = 0,95$ слѣдовательно

$$\Delta = \frac{2 - 1}{2 - 1 - 0,9 + 0,95} = \frac{1}{1,05} = 0,95.$$

Гидростатическіе вѣсы могутъ хорошо служить также для опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкостей. Для этато берутъ твердое тѣло, лучше всего пустой стеклянный шаръ AB (фиг. 108), въ который прежде нежели его запаять, наливаютъ столько ртути C, чтобъ онъ былъ тяжелѣе самой плотной жидкости, которой удѣльный вѣсъ требуется опредѣлить. Вверху онъ имѣетъ стеклянный крючекъ A. Этотъ шаръ прикрѣпляютъ къ крючку чашки гидростатическихъ вѣсовъ и потомъ взвѣшиваютъ его прежде въ воздухѣ (пусть вѣсъ его будетъ p), послѣ въ чистой водѣ, (тогда найдется q), а наконецъ въ той жидкости, которой плотность хотятъ опредѣлить, напр. въ винномъ спиртѣ; при этомъ получится вѣсъ v. И такъ мы знаемъ что объемъ воды, равный объему стеклянаго шара, вѣситъ $p - q$

и тотъ же объемъ виннаго спирта вѣситъ $q - v$. Слѣдов. если принимать удѣльный вѣсъ воды за единицу, то удѣльный вѣсъ Δ спирта получится изъ пропорціи:

$$p - q : p - v = 1 : \Delta.$$

откуда выходитъ

$$\Delta = \frac{p - v}{p - q}.$$

Еслибы напр. найдено было, что стеклянный шаръ вѣситъ въ воздухѣ 50 золотниковъ, въ водѣ 10 золотниковъ, въ винномъ спиртѣ 20, то удѣльный вѣсъ этаго спирта былъ бы

$$\Delta = \frac{50 - 20}{50 - 10} = \frac{30}{40} = 0,75.$$

Само собою разумѣется, что изъ этого получается только отношеніе удѣльныхъ вѣсовъ при той температурѣ, при которой произведенъ былъ опытъ. Поелику жидкости, какъ мы увидимъ послѣ, при одинаковомъ измѣненіи температуры весьма различно измѣняютъ свой относительный вѣсъ, то и отношеніе этихъ вѣсовъ обѣихъ жидкостей при различной температурѣ также измѣняется. Итакъ, чтобъ имѣть возможность сдѣлать поправку относительно этого, необходимо узнать для каждой жидкости измѣненіе удѣльнаго вѣса, зависящее отъ измѣненія температуры. Для этого служатъ вѣрнѣйшимъ средствомъ тѣже самые вѣсы.

Въ самомъ дѣлѣ, дабы напр. узнать измѣненіе плотности воды отъ измѣненія температуры, нужно только опредѣлить удѣльный вѣсъ воды при различныхъ температурахъ, относительно вѣса при какой нибудь опредѣленной температурѣ, точно такимъ же образомъ, какъ мы тотчасъ опредѣлили удѣльный вѣсъ спирта. Для этой цѣли посредствомъ лампы нагрѣваютъ воду, въ которой виситъ стеклянный шаръ, или охлаждаютъ ее, окружая ее льдомъ,

и измѣряютъ температуру посредствомъ термометра въ тѣ же самыя мгновенія, когда опредѣляютъ вѣсъ стекляннаго шара въ водѣ. Посредствомъ такихъ опытовъ сдѣланныхъ съ большимъ стараніемъ нашли, что вода имѣетъ наибольшую плотность при 3,2 нашего термометра; при нисшихъ температурахъ до самаго замерзанія плотность ея уменьшается, такъ же и при высшихъ. Вотъ почему плотность воды при этой температурѣ 3,2 принимается за единицу удѣльнаго вѣса; а для другихъ тѣлъ за нормальную температуру принимаютъ 0. По этому, если говорятъ, что относительный вѣсъ желѣза есть 7,8, то это должно понимать такъ: объемъ желѣза при температурѣ 0 въ 7,8 раза тяжелѣе тогоже объема воды при температурѣ 3,2

Относительный вѣсъ газообразныхъ тѣлъ находится слѣдующимъ образомъ. Берутъ пустой стеклянный шаръ A (фиг. 109) съ краномъ B, наполненный воздухомъ, кладутъ его на чашку вѣсовъ и опредѣляютъ вѣсъ его p. Потомъ вытягиваютъ изъ шара воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса, котораго устройство послѣ мы опишемъ подобнѣе, закрываютъ кранъ такъ, чтобы внѣшній воздухъ не проникнулъ въ шаръ и снова взвѣшиваютъ его; находятъ вѣсъ p'; очевидно, что вѣсъ воздуха былъ $p-p'$. Потомъ наполняютъ шаръ водою, опять взвѣшиваютъ его и находятъ вѣсъ его $=q$; тогда удѣльный вѣсъ воздуха Δ найдется по формулѣ:

$$\Delta=\frac{p-p'}{q-p'}$$

Такимъ образомъ опредѣлили, что воздухъ легче воды въ 770 разъ. Если хотятъ найти плотность другаго газа, то наполняютъ имъ шаръ и взвѣшиваютъ его; если наполненный воздухомъ онъ вѣситъ p, а другимъ газомъ

r, то удѣльный вѣсъ Δ этого послѣдняго въ отношеніи къ воздуху будетъ:

$$\Delta=\frac{r-p'}{p-p'};$$

Обыкновенно за единицу плотности газовъ принимаютъ воздухъ; если найденную такимъ образомъ плотность хотимъ отнести къ водѣ, то мы должны величину Δ т. е. $\frac{r-p'}{p-p'}$ раздѣлить на 770, какъ это легко можно видѣть.

Здѣсь можно замѣтить, что тотъ же самый способъ опредѣленія удѣльнаго вѣса, который мы сей часъ описали для газовъ, употребляется и для жидкихъ тѣлъ, съ тѣмъ только различіемъ, что сосудъ не шаръ, но какая нибудь склянка меньшаго объема съ стеклянною пробкою и такъ устроенная, что она наполняется всегда одинакимъ образомъ различными жидкостями.

При взвѣшиваніи и опредѣленіи плотности газовъ всегда должно съ великимъ тщаніемъ наблюдать, при какомъ состояніи барометра и термометра произведенъ былъ опытъ, потому что отъ этого существенно зависитъ плотность газовъ, какъ мы увидимъ это послѣ; плотность воздуха относительно воды равная $\frac{1}{770}$ найдена для такъ называемой средней высоты барометра равной 30 русскимъ дюймамъ и для температуры 0.

§ 91.

Кромѣ гидростатическихъ вѣсовъ придуманы еще другіе приборы, служащіе для опредѣленія удѣльнаго вѣса, особенно для жидкостей, потому что въ общежитіи эта задача весьма важна; эти приборы называются *Ареометрами*. Они

легче подвергаемой опыту жидкости и по этому плавають на ней; по большему или меньшему погруженію ихъ судятъ о плотности жидкостей, въ которыя они погружаются. Есть два рода ареометровъ: *Ареометры съ постояннымъ вѣсомъ и ареометры съ постояннымъ объемомъ.*

Изложеніе дѣйствія ареометра съ постояннымъ вѣсомъ весьма просто; онъ состоитъ изъ пустаго стекляннаго тѣла, имѣющаго видъ показанный въ фигурѣ 110 и состоящій изъ трехъ главныхъ частей: часть имѣющая дѣленія AB, тѣло ареометра C и шаръ D, заключающій въ себѣ каплю ртути; отъ этого ареометръ можетъ плавать въ той жидкости, для которой онъ назначенъ, всегда въ отвѣсномъ положеніи, потому что центръ тяжести его лежитъ весьма низко по причинѣ большей плотности ртути. Теперь мы предположимъ, что приборъ въ чистой водѣ, имѣющей температуру 3,2, погружается до черты B; въ такомъ случаѣ мы знаемъ, что вѣсъ вытѣсненной воды до B равенъ вѣсу всего прибора. Потомъ мы кладемъ его въ другую жидкость легчайшую; въ ней онъ погрузится глубже, потому что въ легчайшей жидкости нуженъ объемъ гораздо большій для того, чтобъ онъ вѣсилъ столько, сколько вѣситъ весь приборъ. Положимъ, что онъ погрузится до F. Если мы предварительно нашли посредствомъ гидростатическихъ вѣсовъ, что удѣльный вѣсъ этой новой жидкости равенъ напр. 0,9 то въ точкѣ F мы ставимъ число 0,9 а въ точкѣ B число 1. Составляя себѣ жидкости разнаго удѣльнаго вѣса, напр. посредствомъ смѣси воды и виннаго спирта, и опредѣляя плотности ихъ посредствомъ гидростатическихъ вѣсовъ, можно посредствомъ погруженія въ нихъ ареометра означить различныя точки, соотвѣтствующія извѣстнымъ плотностямъ жидкостей, и такимъ обра-

зомъ получить дѣленія, которыя непосредственно даютъ плотность, подвергаемой опыту, жидкости. Въ практикѣ обыкновенно дѣленія дѣлаются на бумагѣ и заключаются въ трубку шейки ареометра, а потомъ вверху при A шейка закрывается. Если хотятъ употребить этотъ ареометръ для такой жидкости, которая тяжелѣе воды, то прежде нежели шейка будетъ сверху запаяна, въ нижній шарикъ вливаютъ такое количество ртути, чтобы инструментъ въ чистой водѣ погружался до самаго верхняго конца дѣленія или *шкалы*; на этомъ мѣстѣ проводится черта и означается числомъ 1. Если поставить приборъ въ тяжелѣйшую жидкость, напр. въ какой нибудь растворъ соли опредѣленной плотности 1,2, то онъ погрузится меньше, потому что меньшее количество вытѣсненной жидкости потребно для того, чтобъ оно вѣсило столько, сколько вѣситъ ареометръ; это мѣсто, до котораго погрузился приборъ, опять означаютъ чертою и ставятъ здѣсь число 1,2. Поступая далѣе такимъ же образомъ можемъ приготовить дѣленія, по которымъ тотчасъ узнается удѣльный вѣсъ тѣхъ жидкостей, въ которыя приборъ погружается, какъ и въ ареометрахъ, назначенныхъ для легчайшихъ жидкостей. Можно бы было также употреблять одинъ и тотъ же ареометръ для легчайшихъ и тяжелѣйшихъ жидкостей вмѣстѣ; для этого шейка должна бы быть длиннѣе и приборъ въ чистой водѣ погружаться до половины шейки; верхняя половина шкалы показывала бы тогда относительный вѣсъ легчайшихъ, а нижняя тяжелѣйшихъ жидкостей. Но по причинѣ большой длины шейки, въ этомъ случаѣ оба инструмента обыкновенно приготовляются отдѣльно. Впрочемъ при устройствѣ этихъ приборовъ есть средство, по двумъ опредѣленнымъ изъ опы-

та точкамъ шкалы находить другія посредствомъ интерполяціи; но мы здѣсь не станемъ заниматься этимъ.

§ 95.

Эти приборы, какъ мы ихъ до сихъ поръ описывали, примѣнены къ опредѣленію удѣльнаго вѣса жидкостей, какого бы свойства онѣ не были, если только онѣ не разъѣдаютъ стекла; обыкновенно же приготовляются такіе приборы для разныхъ жидкостей особенно, напр. для виннаго спирта, солянаго раствора и проч. Извѣстно, что чистый алкооль легче воды; слѣд. чѣмъ больше винной спиртъ, т. е. смѣсь изъ алкооля и воды, заключаетъ въ себѣ алкооля, тѣмъ онъ легче и если посредствомъ опыта опредѣлено, какой относительный вѣсъ принадлежитъ различнымъ, нарочно для этого приготовленнымъ, смѣсямъ, которыхъ составъ слѣд. извѣстенъ, то изъ относительнаго вѣса спирта можно узнать посредствомъ ареометра и составъ его. Но для этого гораздо удобнѣе означить на шкалѣ ихъ не относительный вѣсъ, но прямо соотвѣтствующее ему содержаніе спирта въ процентахъ, такъ что если бы ареометръ погружался напр. до черты, на которой стоитъ число 75, то это означало бы, что смѣсь въ 100 частяхъ содержитъ 75 частей алкооля и слѣд. 25 чистой воды. Ареометръ, устроенный такимъ образомъ, называется *алкоометромъ* или *спиртометромъ*.—Здѣсь должно замѣтить то, что мы уже сказали про ареометръ, т. е: что каждый алкоометръ тогда только вѣрно показываетъ своими дѣленіями проценты алкооля, когда смѣсь, въ которой онъ плаваетъ, имѣетъ туже температуру, при которой были сдѣланы дѣленія и которая обыкновенно означена на шкалѣ. Если же температура напр. была выше, то жидкость сдѣлалась бы легче, нежели при нормальной температурѣ и слѣд. алкоометръ погрузился бы глубже и показалъ содержаніе алкооля больше надлежащаго. Итакъ для опредѣленія надлежащаго количества алкооля должно замѣчать температуру виннаго спирта и потомъ изъ видимаго содержанія алкооля находить истинное посредствомъ таблицы, обыкновенно прилагаемой къ алкоометру. Подобнымъ же образомъ приготовляютъ для соляныхъ растворовъ и другихъ жидкостей особенные ареометры, на которыхъ непосредственно можно видѣть проценты солей, содержащихся въ водѣ. Такъ какъ этотъ предметъ очень важенъ въ общежитіи, то многіе имъ занимались и совокупность всѣхъ этихъ изслѣдованій, какъ отдѣльную вѣтвь практической Физики, называютъ Ареометріею, Алкоометріею и проч.

§ 96.

Ареометры съ постояннымъ объемомъ въ точности превосходятъ описанные нами, но они не такъ приспособлены къ практическому употребленію. Мы знаемъ два рода ихъ, ареометръ Фаренгейта и ареометръ Никольсона, которые впрочемъ мало отличаются одинъ отъ другаго. Фаренгейтовъ ареометръ представленъ въ фигурѣ (фиг. 111); онъ обыкновенно дѣлается изъ металла, тѣло A пустое, B массивное; шейка F состоитъ изъ проволоки съ чертою на срединѣ и на верху съ чашечкою DE. Если, посредствомъ тяжести q возлагаемой на чашечку DE, погрузить этотъ приборъ въ дистиллированную воду, имѣющую $3^0,2$ и слѣд. наибольшую плотность, то по устройству своему онъ погрузится до самой черты F. Если предположимъ, что цѣлый вѣсъ инструмента въ воздухѣ,

безъ тяжести q, положенной на чашечку, есть Q то и вѣсъ объема воды, вытѣсненной ареометромъ до F, будетъ $Q+q$. Когда опустимъ ареометръ въ другую жидкость, которая положимъ будетъ плотнѣе воды, то мы должны будемъ прибавить на чашку еще нѣсколько тяжестей для того, чтобы опять погрузить его до черты F. Предположимъ, что мы должны прибавить для этого вѣсъ p; тогда вѣсъ такого же объема второй жидкости будетъ равенъ $Q+q+p$ и слѣд. относительный вѣсъ ея Δ будетъ:

$$\Delta = \frac{Q+q+p}{Q+q}$$

Если бы жидкость была легче воды при наибольшей плотности послѣдней, то нужно положить вмѣсто q меньшую тяжесть напр. p и тогда вѣсъ объема жидкости вытѣсненной ареометромъ до F будетъ $Q+p$, слѣд. относительный вѣсъ будетъ:

$$\Delta = \frac{Q+p}{Q+q}$$

Обыкновенно берутъ тяжести Q и q въ такомъ отношеніи, что вмѣстѣ онѣ составляютъ 1000, напр. $Q=700$ золотникамъ и $q=300$; тогда вычисленіе бываетъ весьма просто, потому что нужно только дѣлить на 1000. Пусть напр. для морской воды — солянаго раствора, тяжелѣйшаго воды,— вѣсъ p, который кромѣ q нужно положить на чашечку, чтобы погрузить инструментъ до черты F, будетъ равенъ 27 золотникамъ; тогда относительный вѣсъ морской воды будетъ $\frac{1000+27}{1000}=1{,}027$. Это число показываетъ въ самомъ дѣлѣ среднимъ числомъ плотность морской воды въ отношеніи къ чистой.

Ареометръ Никольсона подобенъ Фаренгейтову, и

различается (фиг.112) только тѣмъ, что въ немъ вмѣсто сплошной металлической части внизу находится чашечка B, точно такъ какъ вверху, и поэтому онъ можетъ служить такъ же для опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ тѣлъ. Въ самомъ дѣлѣ положимъ, что приборъ опущенъ напр. въ дистиллированную воду, въ которой онъ погрузился до черты F отъ приложенія тяжести q на чашку. Вмѣсто тяжести q возьмемъ кусокъ K какого нибудь тѣла, котораго удѣльный вѣсъ мы хотимъ опредѣлить и которое вѣситъ меньше, нежели q; положимъ его на ED и потомъ прибавимъ тяжестей столько, чтобы приборъ погрузился до F; если эти приложенныя тяжести будутъ вѣсить r, то очевидно, что вѣсъ тѣла и r вмѣстѣ равны будутъ вѣсу q, потому что, какъ отъ одной, такъ и отъ другой тяжести приборъ погружается до F; слѣд. мы черезъ это получимъ вѣсъ тѣла K въ воздухѣ $= q - r$. Теперь положимъ тѣло K на нижнюю чашечку и опустимъ его въ воду вмѣстѣ съ приборомъ; отъ этого вѣсъ его сдѣлается меньше нежели въ воздухѣ и вмѣсто r нужно положить на ED большую тяжесть r', дабы погрузить ареометръ опять до F; слѣд. вѣсъ тѣла K въ водѣ есть $q-r'$ и потому оно потеряло въ водѣ $q-r-(q-r')$ или $r'-r$. Но мы знаемъ, что тѣло при погруженіи въ воду теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ равный объемъ вытѣсненной воды, слѣдов. мы знаемъ, что вѣсъ объема воды, совершенно равный объему погруженнаго тѣла, относится къ вѣсу тѣла, какъ $r'-r : q-r$; слѣд. удѣльный вѣсъ его будетъ:

$$\Delta = \frac{q-r}{r'-r}$$

Напр. пусть приложенная тяжесть q, какъ и въ Фаренгейтовомъ Ареометрѣ, будетъ 300 золотниковъ. Когда вмѣ-

сто этого вѣса мы кладемъ кусокъ желѣза, то положимъ, что мы должны положить на чашку 120 золотниковъ для того, чтобы погрузить ареометръ до черты F; и такъ $r = 120$. Потомъ положивши желѣзо на нижнюю чашечку, мы найдемъ, что нужно прибавить 143 золотника, для того чтобъ погрузить приборъ опять до F; слѣд. $r' = 143$, и такъ удѣльный вѣсъ желѣза будетъ :

$$\Delta = \frac{300 - 120}{143 - 120} = \frac{180}{23} = 7,8.$$

§ 97.

Въ заключеніе мы покажемъ удѣльный вѣсъ нѣкоторыхъ тѣлъ, часто встрѣчающихся въ общежитіи :

Платина	22,0.	Желѣзо	7,8.	Сѣрная кислота	1,85.
Золото	19,3.	Гранитъ	2,6.	Азотная кислота	1,52.
Ртуть	13,6.	Стекло	2,9.	Деревянное масло	0,92.
Свинецъ	11,4.	Дуб. дерево	0,8.	Алкооль	0,79.
Мѣдь	8,9.	Березовое —	0,6.	Сѣрный эѳиръ	0,72.
Желтая мѣдь	8,4.	Пробочн. дер.	0,2.		

Удѣльный вѣсъ газообразныхъ тѣлъ въ отношеніи къ атмосферному воздуху:

Кислородъ......1,103.
Азотъ..........0,976.
Водородъ.......0,069.
Углекислота....1,524.

Если сверхъ того мы знаемъ, что одинъ кубическій футъ воды при наибольшей плотности ея, вѣситъ $69\frac{1}{7}$ фунтовъ или одинъ кубическій дюймъ $= 3\frac{5}{6}$ золот. и что атмосферный воздухъ составляетъ $\frac{1}{770}$ плотности воды, то мы можемъ вычислить каждый объемъ вышеприведенныхъ тѣлъ, какъ это уже показано въ § 14.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

О ЯВЛЕНІЯХЪ ПРИЛИПАНІЯ.

§ 98.

До сихъ поръ при явленіяхъ равновѣсія жидкостей въ сосудахъ мы принимали въ разсужденіе одну только тяжесть ихъ, т. е. притяженіе къ землѣ. — Но при этомъ дѣйствуютъ еще и другія силы, которыя, хотя въ самомъ дѣлѣ слабѣе тяжести и по этому мало измѣняютъ прежнія явленія, но при извѣстныхъ обстоятельствахъ превозмогаютъ тяжесть или по крайней мѣрѣ имѣютъ весьма значительное вліяніе на явленія. Если мы погрузимъ въ воду стеклянную палочку AB (фиг. 113) и потомъ опять вынемъ ее, то на концѣ ея останется висящая капля *adc*, не смотря на то, что тяжесть влечетъ ее внизъ. Изъ этого мы должны заключить, что водяныя частицы *a*, *b*, *c*, находящіяся въ соприкосновеніи съ стеклянною палочкою, удерживаются притяженіемъ стекла и что нижайшія частицы капли удерживаются прикасающимися непосредственно къ стеклу; итакъ притяженіе имѣетъ мѣсто при соприкосновеніи жидкихъ тѣлъ съ твердыми, и при соприкосновеніи жидкихъ частицъ другъ съ другомъ; это притяженіе называется *прилипаніемъ*. Въ малой массѣ это прилипаніе преодолѣваетъ тяжесть, которою всѣ частицы капли вле-

кутся внизъ, и въ слѣдствіе сего онѣ стремятся принять, какъ показано въ § 83, шарообразную фигуру; шаровидность отчасти измѣняется тяжестію и притяженіемъ стекла. Если вмѣсто стеклянной палочки погрузимъ въ воду палочку саломъ намазанную, то на ней не останется ни одной частицы воды. Также и ртуть на стеклѣ не остается въ видѣ капли, но весьма хорошо на цинковой палочкѣ. Другими словами: мы видимъ, что нѣкоторыя тѣла увлаживаются извѣстными жидкостями, а другія нѣтъ и объясняемъ это тѣмъ, что въ первомъ случаѣ притяженіе жидкихъ частицъ къ твердымъ тѣламъ сильнѣе притяженія, существующаго между самыми жидкими частицами и потому эти послѣднія, прикасаясь къ тѣламъ, отрываются отъ остальныхъ жидкихъ частицъ; во второмъ же случаѣ притяженіе между самыми жидкими частицами сильнѣе притяженія, оказываемаго твердыми тѣлами на жидкость, и по этому твердое тѣло вынимаемое изъ жидкости не можетъ отдѣлить отъ оной никакого слоя непосредственно соприкасающихся съ нимъ частицъ. По этому мы говоримъ, что прилипаніе воды къ стеклу сильнѣе притяженія частицъ воды; напротивъ прилипаніе ртути къ стеклу слабѣе взаимнаго притяженія частицъ ртути. Помощію прилипанія объясняются явленія *волосности*, которыя при первомъ взглядѣ кажутся противными законамъ Статики. Мы видѣли, что жидкость находящаяся въ равновѣсіи образуетъ горизонтальную поверхность; но въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ жидкость прикасается къ стѣнкамъ сосуда, этотъ законъ измѣняется. Если напр. вода находится въ стеклянномъ сосудѣ, или вообще какая нибудь жидкость въ какомъ нибудь сосудѣ, (фиг. 114. I) котораго стѣнки увлаживаются ею, то у краевъ А и В она будетъ стоять выше, нежели въ другихъ мѣстахъ. Если же въ стеклянномъ сосудѣ (фиг. 114. II) заклю-

чена ртуть или вообще какая нибудь жидкость въ какомъ нибудь сосудѣ, котораго стѣнки не увлаживаются ею, то она у краевъ C и D будетъ стоять ниже, нежели въ срединѣ поверхности.

Если сосудъ будетъ узкой, какъ AB (фиг. 115), то прилипающія къ стѣнкамъ частицы у краевъ сблизятся больше такъ, что наконецъ средняя горизонтальная часть совершенно изчезнетъ и поверхность получитъ какъ видъ полушарія, которое для воды бываетъ вогнутымъ, какъ *a* (I), а для ртути выпуклымъ, какъ *b* (II). Если сосудъ будетъ трубка имѣющая въ діаметрѣ менѣе 1 дюйма, то по увѣренію опыта и теоріи, которой мы здѣсь не можемъ больше изслѣдовать, вода не только поднимается у краевъ, но даже образуетъ столбикъ въ *a* стоящій выше уровня MN, противно прежде изложеннымъ законамъ Гидростатики; напротивъ ртуть стоитъ въ узкихъ стеклянныхъ трубкахъ ниже остальной части этой жидкости, заключенной въ сосудѣ, какъ видно при *b*(II). Такъ какъ эти явленія яснѣе разсматриваются въ тонкихъ трубочкахъ, которыхъ внутренній діаметръ такъ малъ, что онъ почти равенъ волосу, то по этому онѣ и называются явленіями волосности. Высота, до которой вода поднимается, а ртуть напускается, въ такихъ волосныхъ стеклянныхъ трубкахъ, находится въ обратномъ отношеніи съ діаметромъ трубочекъ, такъ что если вода въ стеклянной трубкѣ, имѣющей въ діаметрѣ $\frac{2}{100}$ дюйма, поднимается до высоты 2 дюймовъ, то въ другой, имѣющей въ діаметрѣ $\frac{4}{100}$ дюйма, она достигнетъ до высоты 1 дюйма. Явленія волосности бываютъ различны по различію жидкостей и стѣнокъ трубки.

*

§ 99.

На явленіяхъ волосности основывается объясненіе другихъ явленій. Если напр. на поверхность воды AB положить съ осторожностію тонкую иголку N, которая на фигурѣ (фиг. 116) представлена въ поперечномъ разрѣзѣ, то при соприкосновеніи вода съ обѣихъ сторонъ иголки понизится, потому что иголка не легко увлажиается водою; отъ этого на поверхности образуется углубленіе *abc* и если оно такъ велико, что вѣсъ воды вытѣсненной изъ него будетъ равенъ вѣсу самой иголки, то послѣдуетъ равновѣсіе и иголка будетъ плавать, хотя она падаетъ на самое дно сосуда, когда ее погрузить въ жидкость, потому что она плотнѣе воды. Къ явленіямъ волосности принадлежитъ также восхожденіе соковъ въ растѣніяхъ, постепенное просачиваніе воды въ пескѣ, который увлаженъ только снизу и пр. Этимъ объясняется также раскалываніе камней, производимое посредствомъ сухихъ деревянныхъ клиновъ, которые вколачиваютъ въ пробуравленное въ камнѣ отверстіе и потомъ обливаютъ водою. Вода протекаетъ въ поры дерева въ слѣдствіе волосности съ такою силою, что клинъ больше и больше расширяется и наконецъ раскалываетъ камень.

Подобно тому, какъ вода поднимается въ промежуткахъ рыхлаго песку, она восходитъ въ порахъ и другихъ жидкостей, если только она больше притягивается частицами этой жидкости, нежели сколько притягиваются взаимно ея собственныя частицы. Если нальемъ въ сосудъ воды до AB (фиг. 117) а сверху осторожно прибавимъ спирту до CD, то можемъ достигнуть до того, что обѣ жидкости явственно будутъ отдѣлены одна отъ другой въ AB. Если же приборъ оставимъ въ покоѣ на нѣкоторое время, напр. на сутки, то на верху въ CD найдемъ образовавшуюся смѣсь изъ воды и виннаго спирта, которая одинакова со смѣсью на днѣ FG, такъ что по этому вода, не смотря на большую тяжесть свою, поднялась, а винный спиртъ, не смотря на меньшую тяжесть свою, опустился на дно; это по вышепоказанному нами объясненію зависитъ отъ того, что частицы воды больше притягиваются частицами спирта, нежели другъ другомъ. Безъ этого не послѣдовало бы никакого смѣшенія, какъ мы это видимъ наливая деревянное масло на воду; здѣсь частицы каждой жидкости больше притягиваются другъ другомъ, нежели частицами другой жидкости; по этому онѣ располагаются одна надъ другою смотря по удѣльному вѣсу ихъ, т. е. вода внизу, а масло вверху. Даже если посредствомъ движенія сосуда смѣшать ихъ вмѣстѣ, то онѣ опять тотчасъ отдѣляются другъ отъ друга.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

О ДВИЖЕНІИ КАПЕЛЬНЫХЪ ЖИДКОСТЕЙ.

§ 100.

Если въ какомъ нибудь сосудѣ ABMN (фиг. 118) находится жидкость въ покоѣ и если мы вдругъ откроемъ круглое отверстіе *mn*, сдѣланное въ днѣ сосуда и прежде закрытое пластинкою, то вода будетъ вытекать изъ этого отверстія не только отъ дѣйствія собственной тяжести, но еще и по причинѣ давленія всѣхъ жидкихъ частицъ, находящихся выше отверстія. При этомъ мы замѣчаемъ, что хотя

поверхность MN понижается, но всегда остается горизонтальною и образуется въ ней воронкообразное углубленіе прямо надъ отверстіемъ только тогда, когда она приблизится къ дну сосуда. Это объясняется равномѣрнымъ движеніемъ жидкости во всѣ стороны. Въ самомъ дѣлѣ какъ скоро частицы, непосредственно лежащія при отверстіи, выдутъ изъ сосуда, то къ отверстію будутъ стремиться не только частицы c и d, лежащія выше, но и другія, подверженныя равному или еще немного сильнѣйшему давленію, лежащія въ сторонѣ въ b и a, и въ e и f, и находившіяся до сихъ поръ въ покоѣ; мѣсто же ихъ займутъ другія частицы, лежащія еще далѣе въ сторонѣ, такъ что прежде всего будетъ выливаться нижній слой, верхнія же частицы не будутъ вытекать, но очевидно должны понижаться по причинѣ изчезанія нижнихъ частицъ; при этомъ нѣтъ ни какой причины почему находящіяся въ срединѣ должны понижаться скорѣе другихъ. Если бы жидкости не имѣли способности распространять равное давленіе во всѣ стороны, то частицы, находящіяся надъ отверстіемъ, понижались бы скорѣе и отъ того въ срединѣ образовалось бы воронкообразное углубленіе. Это случается именно при истеченіи песку изъ отверстія, сдѣланнаго въ днѣ.—Если такимъ образомъ жидкость движется къ отверстію не только сверху но со всѣхъ сторонъ, то естественно частицы должны частію сталкиваться при истеченіи и удерживаться и въ самомъ дѣлѣ это подтверждается тѣмъ, что *водяная жила* при истеченіи изъ отверстія mn, въ небольшемъ разстояніи отъ него, сжимается, такъ что въ этомъ мѣстѣ діаметръ жилы не равенъ діаметру отверстія mn, но меньше и по опыту извѣстно что діаметръ $op = \frac{4}{5}\ mn$. — Если же въ отверстіе вставить маленькую цилиндрическую трубку, то, по причинѣ прилипанія воды къ стѣнкамъ трубочки, сжатіе жилы будетъ меньше.

§ 101.

При опредѣленіи законовъ истеченія воды первый важный вопросъ состоитъ въ томъ, съ какою скоростію вода вытекаетъ. Такъ какъ эта скорость зависитъ отъ давленія воды на дно, а самое давленіе зависитъ отъ высоты воды въ сосудѣ, то легко можно видѣть, что вода тѣмъ скорѣе будетъ вытекать, чѣмъ выше она стоитъ надъ отверстіемъ, сдѣланнымъ въ днѣ; теперь спрашивается, въ какомъ отношеніи увеличивается скорость истеченія при увеличеніи высоты. — Если бы хотѣли опредѣлить это посредствомъ опыта, то мы должны бы были найти, сколько воды въ продолженіи одной минуты, при извѣстной высотѣ этой жидкости, вытечетъ изъ отверстія опредѣленной величины; потомъ повторить тотъ же опытъ при другой высотѣ, оставляя тоже отверстіе; если бы мы нашли, что при второмъ опытѣ вытекло воды напр. въ 4 раза больше, то это могло произойти только отъ скорости въ четверо большей; при этомъ мы могли бы видѣть, какъ относятся высоты между собою, когда скорости относятся, какъ 4 : 1. Но здѣсь входитъ одно неблагопріятствующее обстоятельство, состоящее въ томъ, что скорость истеченія въ продолженіи каждаго опыта измѣняется, когда поверхность воды понижается болѣе и болѣе. Итакъ мы должны устроить опытъ такъ, чтобъ можно было наливать сверху въ сосудъ столько воды, сколько вытекаетъ изъ оной снизу. Такой приборъ дѣйствительно существуетъ, и мы послѣ увидимъ устройство его, а теперь мы только представимъ себѣ, что сосудъ, посредствомъ котораго производятся подобные опыты, снабженъ такимъ устройствомъ. Опыты показали,

что когда высота жидкости въ сосудѣ будетъ въ 4 раза больше, то скорость истеченіе будетъ въ 2 раза больше, когда высота въ 9 разъ больше, то скорость въ 3 раза и что слѣд. скорости истеченія относятся какъ корни квадратные изъ высотъ или, если означимъ скорости черезъ v и v', высоты черезъ h и h', то получимъ:

$$v : v' = \sqrt{h} : \sqrt{h'}.$$

Съ другой стороны теорія показываетъ, что скорость истеченія равна скорости тѣла свободно падающаго съ той высоты, съ которой течетъ вода; слѣд. по § 65 скорость можетъ быть выражена такъ:

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Мы видимъ, что этотъ выводъ теоріи совершенно согласенъ съ закономъ, найденнымъ посредствомъ опыта, ибо для другой высоты h' мы подобнымъ же образомъ получаемъ скорость истеченія,

$$v' = \sqrt{2gh'}$$

откуда

$$v : v' = \sqrt{h} : \sqrt{h'}.$$

Но когда мы сравнимъ дѣйствительную скорость съ найденною изъ формулы $v = \sqrt{2gh}$, то найдемъ между ними несогласіе. Въ самомъ дѣлѣ предположимъ напр., что вода вытекаетъ изъ круглаго отверстія, поверхность котораго равна 1 квадратному дюйму, и что высота воды постоянно равна 4 футамъ; такъ какъ $g = 32$ футамъ въ секунду, то мы получимъ:

$$v = \sqrt{64 . 4} = 16.$$

т. е. скорость воды равна 16 футамъ въ 1 секунду. Но когда скорость истеченія въ одну секунду равна 16 футамъ, то первыя истекшія частицы въ концѣ первой секунды будутъ находиться отъ отверстія на разстояніи 16

футовъ, слѣд. въ продолженіи этой секунды должно вытекать количество воды по объему равное цилиндру, имѣющему туже высоту (т. е. 16 фут.) и основаніе $= 1$ квадратному дюйму т. е. вытечетъ $16 \times 12 = 192$ кубическимъ дюймамъ. Когда же произведемъ самый опытъ, то увидимъ, что воды вытечетъ только 120 кубич. дюймовъ т. е. количество равное $\frac{5}{8}$ вычисленнаго. Но не трудно найти причину этого, если мы примемъ въ разсужденіе то, что жила при истеченіи значительно сжимается; поэтому нельзя сказать, что количество вытекшей воды равно цилиндру, котораго высота равна 16 футамъ а основаніе 1 квадратному дюйму, но напротивъ за основаніе надобно принять поперечный разрѣзъ водяной жилы въ самомъ тонкомъ мѣстѣ. Если на мѣсто простаго отверстія употребимъ прибавочную трубку тогоже діаметра, въ которомъ случаѣ сжатіе жилы, какъ мы видѣли, меньше, то найдемъ, что величину $\sqrt{2hg}$ нужно умножить не на $\frac{5}{8}$, но на число гораздо ближе подходящее къ единицѣ

§ 102.

Если въ сосудѣ отверстіе сдѣлано не на днѣ, но въ боку, то мы должны принять за высоту давленія линію проведенную отъ средины отверстія до поверхности воды. Если сосудъ MNAB (фиг. 119) снабженъ горизонтальною трубкою, на концѣ загнутою вверхъ и имѣющею здѣсь отверстіе mn, закрытое какимъ нибудь образомъ, то при открытіи этого отверстія вода будетъ стремиться вверхъ со скоростію равною той, которую имѣло бы тѣло въ концѣ паденія, если бы оно падало съ высоты MG. Но мы знаемъ изъ предъидущаго (§ 68), что тѣло брошенное вверхъ съ этого

скоростію, достигаетъ тойже высоты, съ которой оно должно упасть, чтобъ пріобрѣсть эту скорость; слѣд. вода при истечении изъ трубки достигаетъ до K лежащего въ одной горизонтальной плоскости съ поверхностію MN. Впрочемъ эта высота на самомъ дѣлѣ бываетъ нѣсколько меньше отъ двухъ причинъ; во первыхъ отъ сопротивленія противополагаемаго воздухомъ истекающей водѣ, во вторыхъ отъ того, что частицы, достигнувшія самой большей высоты, падая на другія частицы еще подпимающіяся, должны уменьшить ихъ скорость. Послѣднему неудобству помогаютъ тѣмъ, что отверстіе дѣлаютъ не совершенно въ горизонтальной плоскости, но нѣсколько наклонно къ горизонту; отъ этого и вода выходитъ немного косвенно и частицы ея не падаютъ одна на другую. На тотчасъ изложенныхъ началахъ основана теорія фонтановъ. Легко можно видѣть, что для поднятія воды на какую нибудь высоту можно вмѣсто давленія воды употребить какое нибудь механическое давленіе на поверхность MN резервуара. Если положимъ напр., что это давленіе равно 690 фунтамъ и поперечный разрѣзъ цилиндрическаго сосуда равенъ 1 квадратному футу, то, какъ мы уже знаемъ, въ этомъ сосудѣ столбъ воды высотою въ 1 футъ вѣситъ 69 фунтовъ, и такъ какъ употребляемое нами давленіе въ 10 разъ больше, то слѣд. высота воды должна бы быть 10 футами выше, чтобъ произвести тоже давленіе. Но мы знаемъ изъ предъидущаго, что тогда скорость выбрасыванія такъ велика, что вода поднимется на 10 футовъ, слѣд. до этой же высоты можетъ поднять воду и употребляемое нами давленіе. Если отверстіе mn равно 1 квадратному дюйму или $\frac{1}{144}$ квадратнаго фута, то количество воды, выбрасываемой въ одну секунду будетъ

$$\frac{5}{8}\times\frac{1}{144}\times\sqrt{2gh}=\frac{1}{144}\times\frac{5}{8}\sqrt{64\times10}=0{,}11 \text{ куб фут.}$$

Такимъ образомъ дѣйствуютъ напр. пожарныя трубы и легко видѣть, какъ можно вычислить давленіе, требуемое для того, чтобъ необходимое количество воды поднять до требуемой высоты.

§ 103.

На изслѣдованныхъ нами законахъ равновѣсія и движенія жидкостей основывается объясненіе нѣкоторыхъ явленій природы, безъ этого кажущихся загадочными, напр. явленіе *артезіанскихъ колодцевъ*. Они получили свое названіе отъ французской провинціи Артуа, въ которой находится ихъ очень много. Въ землѣ просверливаютъ вертикальную дыру, посредствомъ желѣзнаго буравца, который на деревянномъ шестѣ, могущемъ сдѣлаться длиннѣе посредствомъ прибавочныхъ шестовъ, входитъ въ землю на нѣсколько сотъ футовъ. Часто доходятъ до такой глубины, что вдругъ начинаетъ бить фонтанъ, который, когда вынутъ буравецъ, бьетъ иногда до высоты нѣсколькихъ футовъ надъ поверхностію земли и такимъ образомъ составляетъ постоянный, естественный, бьющій ключь; въ другихъ случаяхъ вода доходитъ только до поверхности земли или даже останавливается ниже ея на нѣсколько футовъ. Для объясненія этого явленія нужно прежде знать, что верхняя кора земли состоитъ не изъ однообразной массы, достигающей безъ измѣненія до самой большой глубины, но ее находятъ составленною изъ многихъ, лежащихъ одинъ надъ другимъ, слоевъ различныхъ породъ перемежающихся между собою,—изъ песку, глины, извести и проч. Направленіе этихъ слоевъ большею частію накло-

ЧЕТВЕРТОЕ ОТДѢЛЕНІЕ.

ОБЪ УПРУГИХЪ ЖИДКИХЪ ТѢЛАХЪ И ВЪ ОСОБЕННОСТИ ОБЪ АТМОСФЕРНОМЪ ВОЗДУХѢ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О ТЯЖЕСТИ ВОЗДУХА И О БАРОМЕТРѢ.

§ 104.

Упругія жидкія тѣла или газы имѣютъ съ капельными общее свойство однообразно распространять во всѣ стороны давленіе, оказываемое на нихъ, но къ этому присоединяется еще другое свойство, состоящее въ томъ, что частицы ихъ взаимно отталкиваются; по этому онѣ должны быть удерживаемы внѣшнимъ давленіемъ и для заключенія ихъ въ сосудѣ нужно, чтобъ онъ былъ закрытъ не только снизу и съ боковъ, но и сверху. Одинъ изъ самыхъ обыкновенныхъ газовъ есть атмосферный воздухъ, который собственно есть смѣсь двухъ газовъ, кислорода и

азота, какъ мы уже видѣли это (§ 15); но въ механическомъ отношеніи эти составныя части дѣйствуютъ совершенно какъ одинъ простой газъ. Здѣсь мы особенно займемся законами, которымъ подчинено равновѣсіе атмосфернаго воздуха.

До средины 17-го столѣтія не знали, что атмосферный воздухъ имѣетъ тяжесть. Уже прежде замѣчали, что если погрузить въ воду цилиндрическую трубку AB (фиг. 121), въ которой посредствомъ стержня CD можетъ двигаться сплошной и плотно входящій поршень C, и потомъ поднять поршень до C′, то вода вопреки законамъ статики идетъ за поршнемъ и останавливается въ трубкѣ выше внѣшняго уровня; этимъ свойствомъ воспользовались для устроенія насосовъ. Но это явленіе объясняли предположеніемъ, что природа *боится пустаго пространства* (horror vacui). Однако это объясненіе должны были оставить, когда увидѣли, что если трубка длиннѣе 34 футовъ, то вода останавливается на этой высотѣ. Торичелли, ученикъ знаменитаго Галилея, первый объяснилъ это явленіе, приписывая его давленію атмосфернаго воздуха. Именно онъ говорилъ: MN подвержено давленію тяжести всей атмосферной массы до самыхъ предѣловъ атмосферы, вода распространяетъ это давленіе во всѣ стороны, слѣд. и внутрь трубки, снизу вверхъ. Если трубка открыта сверху, то вода будетъ стоять въ ней на той же высотѣ, на какой она стоитъ внѣ, потому что тогда поверхность воды въ трубкѣ будетъ подвержена такому же давленію сверху, какое производится на нее снизу остальною водою. Когда же давленіе воздуха будетъ уничтожено внутри трубки,—а это можно сдѣлать произведя пустоту посредствомъ поднятія поршня,—тогда не будетъ дѣйствія противнаго давле-

нію, производимому вверхъ и слѣд. вода въ трубкѣ поднимется выше внѣшняго уровня. Но такъ какъ съ повышеніемъ поршня поднимающаяся вода своею тяжестію противодѣйствуетъ внѣшнему давленію и какъ эта тяжесть съ поднятіемъ воды увеличивается больше и больше, то должно наконецъ послѣдовать такое мгновеніе, когда поднявшееся количество воды будетъ дѣйствовать на слой воды, лежащій въ одной плоскости со внѣшнимъ уровнемъ, съ такою силою, съ какою давитъ атмосфера на тотъ же самый слой снизу вверхъ и тогда вода не будетъ подниматься выше; это имѣетъ мѣсто при высотѣ 34 фут. и по этой причинѣ посредствомъ насосовъ нельзя поднять воду выше сего предѣла. Этотъ предѣлъ остается постояннымъ, какъ бы не была широка трубка, потому что давленіе воды, если только высота ея остается постоянною, пропорціонально только основанію столба.

§ 105.

Чтобъ доказать справедливость своего объясненія Торичелли заключилъ, что если въ самомъ дѣлѣ давленіе атмосферы удерживаетъ водяной столбъ въ равновѣсіи при 34 футахъ, то для жидкости, которая въ 13,6 разъ тяжелѣе воды, какова напр. ртуть, эта высота должна быть въ 13,6 разъ меньше 34 фут. и что слѣд. отъ атмосфернаго давленія ртуть должна подняться только на 30 дюймовъ. Для доказательства этого онъ сдѣлалъ слѣдующій знаменитый опытъ: онъ взялъ стеклянную трубку длиною 30 дюймовъ, запаялъ ее съ одного конца, а черезъ другой открытой конецъ наполнилъ ее ртутью; потомъ закрылъ этотъ конецъ пальцемъ, оборотилъ трубку, погрузилъ ее въ ртуть и отнялъ палецъ; вдругъ ртуть опустилась въ трубкѣ на опредѣленную часть и остановилась на высотѣ C, (фиг. 122), гдѣ она образовала въ слѣдствіе волосности выпуклую шарообразную поверхность. Когда онъ измѣрилъ высоту отъ верхней точки этой выпуклости до поверхности MN ртути, то нашелъ, что она = 30 дюймамъ. Такимъ образомъ онъ неоспоримо доказалъ тяжесть воздуха и давленіе его на поверхность земли. Этотъ приборъ Торичелли называется *барометромъ*.

Итакъ барометръ есть инструментъ, которымъ измѣряется давленіе воздуха посредствомъ высоты ртутнаго столба, уравновѣшивающаго это давленіе. Въ самомъ дѣлѣ, если представимъ себѣ, что поверхность ртути въ сосудѣ MN продолжена черезъ самую трубку, то внѣшняя ртуть и находящаяся въ трубкѣ до высоты m уравновѣшиваются одна другою; напротивъ столбъ ртути mC не уравновѣшивается внѣшнимъ столбомъ ртути и слѣд. можетъ быть поддерживаемъ только воздушнымъ давленіемъ, которое производится на MN, распространяется до m и потомъ дѣйствуетъ вверхъ; слѣд. это давленіе должно быть равно давленію ртутнаго столба и можетъ быть имъ измѣряемо. Для точнѣйшаго понятія теоріи барометра можно представить себѣ этотъ приборъ, какъ будто состоящимъ изъ двухъ сообщающихся сосудовъ, изъ которыхъ въ одномъ надъ MN находится вертикальный столбъ воздуха MNM'N' до самыхъ предѣловъ атмосферы, а въ другомъ, въ равновѣсіи съ нимъ, ртутный столбъ mC. Мы могли бы даже опредѣлить высоту атмосферы, если бы мы знали, что плотность воздуха вездѣ одинакова, ибо мы знаемъ по § 87, что въ сообщающихся трубкахъ высоты разнородныхъ жидкостей обратно пропорціональны плотностямъ ихъ, слѣдовательно, такъ какъ воздухъ въ 770 разъ легче, а ртуть въ 13,6 тяжелѣе воды, то мы имѣли бы:

$$30 : x = \frac{1}{770} : 13{,}6.$$

откуда

4160 6180

$x = 30 \times 13{,}6 \times 770 =$ ~~311850 дюйм. = 25987,5~~ ф. = 7,4 верстъ.

Но плотность воздуха уменьшается съ высотою, какъ это мы увидимъ скоро, и по этому высота атмосферы бываетъ гораздо больше; въ самомъ дѣлѣ по теоретическимъ изслѣдованіямъ, которыя мы здѣсь не можемъ изложить, опредѣлили ее около 190 верстъ.

§ 106

Барометръ есть инструментъ, который весьма часто употребляется, по этому мы должны изслѣдовать его подробнѣе. Въ такомъ видѣ, въ которомъ изобрѣлъ его Торичелли, на него дѣйствуютъ нѣкоторыя обстоятельства, отъ которыхъ высота ртутнаго столба въ трубкѣ надъ поверхностію внѣшней ртути не можетъ служить истинною мѣрою атмосфернаго давленія. Во первыхъ извѣстно, что всѣ жидкости, также и ртуть, находясь въ прикосновеніи съ воздухомъ, поглощаютъ часть его, которая при уменьшеніи давленія атмосферы опять освобождается; по этому ртуть налитая въ трубку содержитъ въ себѣ воздухъ. На противъ пространство BC въ барометрѣ будетъ совершенно пусто (по этому оно называется *торичелліевою пустотою*); и такъ ртуть при C не подвержена никакому давленію; отъ этаго воздухъ, содержащійся въ ртути будетъ освобождаться изъ нея и распространяться по пространству BC и такъ какъ онъ имѣетъ нѣкоторую упругость, то давленіе атмосферы будетъ уравновѣшено не одною ртутью въ барометрѣ, но еще и упругостію содержащагося въ пространствѣ BC воздуха; по этому ртуть должна стоять ниже, нежели тогда, когда бы надъ нею была совершен-

ная пустота и въ слѣдствіе сего барометръ не показываетъ истиннаго давленія атмосферы. Для устраненія этого недостатка, прежде нежели трубка обращена и погружена въ сосудъ MN, изъ ртути выгоняютъ воздухъ посредствомъ кипяченія ея въ самой трубкѣ, только съ предосторожностію нагрѣвать трубку мало по малу, иначе она лопнетъ. Послѣ этого пространство CB въ барометрѣ въ самомъ дѣлѣ будетъ пусто.

Вторая причина, уменьшающая высоту барометра, есть волосность дѣйствующая на ртуть въ трубкѣ. Въ самомъ дѣлѣ мы видѣли въ § 98, что ртуть отъ дѣйствія волосности образуетъ выпуклую поверхность и если трубка довольно узка, напр. въ діаметрѣ имѣетъ меньше одного дюйма, то ртуть стоитъ тѣмъ ниже, чѣмъ уже трубка; для трубки напр. $\frac{1}{4}$ дюйма величина эта равна 0,043 дюйма.

Посредствомъ опытовъ опредѣлено, какъ велико пониженіе ртути, зависящее отъ волосности, въ трубкахъ имѣющихъ извѣстные діаметры и по этому, зная внутренній діаметръ барометрической трубки, можно опредѣлить, какъ велика погрѣшность, происходящая отъ этого въ барометрѣ, и какую нужно употребить поправку. Физики старались устранить эту погрѣшность другимъ способомъ и для этого изобретенъ *сифонный* барометръ. Въ описанномъ барометрѣ трубка погружается въ чашечку наполненную ртутью (по этому этотъ барометръ называется *барометромъ съ чашечкою*); въ сифонномъ же открытый конецъ трубки загнутъ вверхъ и представляетъ обращенный сифонъ ABD (фиг. 123). При m находится поверхность ртути, на которую дѣйствуетъ атмосферное давленіе чрезъ открытую вѣтвь D.

Если продолжимъ горизонтальную плоскость m, то она пересѣчетъ другую вѣтвь въ n и слѣд. столбъ ртути, измѣряющій атмосферное давленіе, будетъ nC. Въ C дѣйству-

етъ волосность внизъ, но при m тоже, и если діаметры обѣихъ вѣтвей одинаковы, то оба дѣйствія волосности взаимно уничтожаются. Впрочемъ найдено, что дѣйствіе волосности въ трубкахъ съ равными діаметрами въ пустотѣ на C отлично отъ дѣйствія на поверхность m, находящуюся въ прикосновеніи съ воздухомъ; поэтому и сифонный барометръ не поправляетъ совершенно погрѣшности происходящей отъ волосности.

Приготовивши барометръ съ чашечкою или сифонный, нужно съ точностію измѣрить высоту ртутнаго столба въ трубкѣ надъ внѣшнимъ уровнемъ. Для этого употребляется линейка или шкала, на которой означены дѣленія въ дюймахъ и линіяхъ. Она находится возлѣ трубки барометра и по ней движется ноніусъ, посредствомъ котораго можно видѣть $\frac{1}{10}$ линіи, и даже еще меньшія части. При наблюденіяхъ ноніусъ ставится такъ, что 0 его совпадаетъ съ поверхностію ртути въ трубкѣ.

Если 0 дѣленія на линейкѣ стоитъ на одной высотѣ съ ртутью въ чашечкѣ, то мы непосредственно получаемъ высоту барометра изъ положенія ноніуса на шкалѣ.

Наблюденія, производимыя надъ барометромъ въ продолженіи нѣсколькихъ часовъ, показываютъ, что высота ртутнаго столба измѣняется; по этому, если ртуть въ трубкѣ понижается, то она необходимо должна возвыситься въ чашечкѣ, или въ короткой вѣтви сифоннаго барометра, и слѣд. если 0 на шкалѣ прежде совпадаетъ съ поверхностію внѣшней ртути, то въ случаѣ пониженія ртути въ трубкѣ онъ не будетъ совпадать, но ртуть будетъ стоять выше 0 дѣленія. И такъ для точнаго измѣренія должно передвинуть шкалу такъ, чтобы при каждомъ наблюденіи 0 ея могъ совпадать съ нижнею поверхностію.

Если не требуется большой точности, какъ напр. въ общежитіи при наблюденіяхъ обыкновеннаго барометра въ комнатахъ, то дѣлаютъ чашечку весьма широкую въ сравненіи съ трубкою; если ртуть въ барометрѣ упадаетъ, то хотя она и поднимается въ чашечкѣ, но по причинѣ значительной широты ея высота нижней поверхности весьма мало измѣняется. Если напр. поперечный разрѣзъ трубки $= 0{,}1$, а разрѣзъ сосуда $= 4$ квадратнымъ дюймамъ, то въ случаѣ пониженія ртути въ трубкѣ на 1 дюймъ въ чашечкѣ она поднимется на $\frac{0{,}1}{4} = 0{,}025$ дюйма, а такую величину при обыкновенныхъ комнатныхъ наблюденіяхъ можно пренебречь. Для употребленія барометра въ наукѣ линейка непремѣнно должна быть подвижная или вмѣсто сего вся ртуть, какъ это имѣетъ мѣсто въ барометрѣ Фортена (*Fortin*), представленномъ въ разрѣзѣ на фиг. 124; DFGE есть стеклянный сосудъ съ ртутью доходящею до высоты MN, въ который погружается барометрическая трубка Am; DK представляетъ шкалу; на крышкѣ сосуда, которая совершенно его закрываетъ и въ которой сдѣлано отверстіе для того, чтобъ воздухъ свободно входилъ въ сосудъ, находится платиновое остроконечіе pq. Внизу подъ чашкою находится винтъ B, посредствомъ котораго можно опустить или повысить замшу составляющую дно сосуда, а съ нею вмѣстѣ и ртуть. При всякомъ наблюденіи сперва поднимаютъ поверхность MN, такъ чтобъ она касалась остроконечія pq. Начиная отъ этой точки считаются дѣленія линейки, такъ что 0 ея находится при остроконечіи q.

Много придумано и сдѣлано барометровъ различнаго устройства; но ихъ не трудно будетъ понять всякому при первомъ взглядѣ, кто хорошо помнитъ сказанное нами о

барометрахъ выше описанныхъ и потому мы не будемъ больше описывать этихъ инструментовъ.

§ 107.

Если станемъ наблюдать высоту барометра въ продолженіи многихъ дней, то увидимъ, что она постоянно измѣняется. Между тропиками измѣненія высоты барометра совершаются съ большею правильностію; по утру ртуть возвышается до 10 часовъ, остается нѣкоторое время на этой высотѣ, потомъ начинаетъ понижаться до 4 часовъ пополудни, потомъ опять поднимается до 10 часовъ вечера и достигаетъ въ это время въ другой разъ наибольшей высоты, которая впрочемъ меньше утренней; потомъ она опять понижается, достигаетъ второй наименьшей высоты въ 4 часа утра и опять начинаетъ подниматься, такъ что въ 10 часовъ слѣдующаго дня достигаетъ опять наибольшей высоты. Тѣже самыя измѣненія правильно повторяются каждый день, такъ что они совершаютъ періодъ заключающійся въ цѣлыхъ суткахъ; въ продолженіи этого періода барометръ достигаетъ два раза (въ 10 часовъ утра и пополудни) наибольшей высоты и два раза наименьшей (въ 4 часа утра и пополудни). Такъ какъ опредѣленный который нибудь часъ, напр. 10-й часъ утра, на разныхъ точкахъ земли, имѣющихъ различную долготу, бываетъ въ весьма различныя мгновенія, но всегда при одинаковомъ положеніи солнца относительно меридіана, то мы ясно видимъ, что измѣненія барометра зависятъ отъ дѣйствія солнца; въ послѣдствіи мы увидимъ, какимъ образомъ ихъ можно изъяснить.

Подъ большими широтами, именно у насъ, невидно никакихъ слѣдовъ такихъ правильныхъ измѣненій; напротивъ

барометръ подверженъ другимъ значительнѣйшимъ и совершенно неправильнымъ колебаніямъ, которыя могутъ простираться отъ 3 до 4 дюймовъ. Впрочемъ изъ этого не должно заключать о совершенномъ отсутствіи правильныхъ періодовъ такъ явственно повторяющихся подъ тропиками, потому что можетъ случиться, что сильное неправильное измѣненіе, случившееся вмѣстѣ съ правильнымъ гораздо слабѣйшимъ, измѣняетъ высоту барометра такимъ образомъ, что еслибы въ слѣдствіе правильнаго колебанія онъ и въ самомъ дѣлѣ достигъ наибольшей высоты въ 10 часовъ, то эта высота отъ сильнаго неправильнаго измѣненія, можетъ быть случающагося въ противномъ направленіи правильнаго, такъ сильно уменьшается, что мы наблюдаемъ вмѣсто наибольшей высоты барометра очень малую. Такъ какъ вопервыхъ мы не знаемъ причины неправильныхъ измѣненій атмосфернаго давленія, и во вторыхъ если бы даже и знали ихъ, мы не въ состояніи были бы съ точностію ихъ опредѣлитьили даже устранить, то кажется не возможнымъ найти правильные періоды изъ множества неправильныхъ измѣненій. При всемъ томъ есть одно средство для этого; и такъ, какъ это весьма важно для всѣхъ случаевъ, гдѣ нужно отдѣлить какое нибудь явленіе отъ множества другихъ случающихся съ нимъ въ одно время, то мы кратко покажемъ, въ чемъ состоитъ это средство. Такъ какъ неправильныя измѣненія барометра не имѣютъ такихъ періодовъ, какіе мы опредѣлили для правильныхъ случающихся между тропиками, то также вѣроятно, что напр. въ 10 часовъ высота барометра отъ неправильнаго измѣненія уменьшается, какъ вѣроятно и то, что она увеличивается. По этому если мы будемъ наблюдать высоту барометра въ 10 часовъ въ продолженіи многихъ дней

сряду, напр. 1000 дней или еще больше, то мы можемъ съ большою вѣроятностію предположить, что барометръ столько же разъ стоялъ выше, сколько разъ онъ стоялъ ниже той высоты, до которой бы онъ достигнулъ въ слѣдствіе однихъ правильныхъ измѣненій; и такъ если мы возмемъ сумму всѣхъ наблюденій высоты барометра сдѣланныхъ въ продолженіи 1000 дней, то слишкомъ большія и слишкомъ малыя высоты должны уничтожаться взаимно и мы получимъ число весьма близко подходящее къ тому, которое получили бы черезъ сложеніе тысячи нормальныхъ высотъ; раздѣляя эту сумму на 1000 мы получимъ для 10 часовъ высоту барометра весьма близко подходящую къ истинной. И такъ видно, что посредствомъ средняго ариѳметическаго числа, взятаго изъ многихъ наблюденій, мы устраняемъ вліяніе неправильныхъ измѣненій на истинную высоту, и чѣмъ больше взято наблюденій, тѣмъ вѣрнѣе достигаемъ своей цѣли. По этой то причинѣ долго производимыя, точныя метеорологическія наблюденія, которыя, можетъ быть, многіе считаютъ безполезною вещію, такъ важны для науки. Если употребимъ этотъ способъ для опредѣленія правильныхъ барометрическихъ измѣненій въ странахъ, лежащихъ подъ большею широтою нежели тропики т. е. если будемъ наблюдать такимъ образомъ барометръ каждый часъ, или въ какіе нибудь опредѣленные часы въ продолженіи нѣсколькихъ лѣтъ, сложимъ всѣ наблюденія, сдѣланныя въ одинъ часъ и сумму раздѣлимъ на число всѣхъ наблюденій, то найдемъ среднюю высоту барометра соотвѣтствующую часамъ наблюденія и тогда увидимъ, что правильныя измѣненія имѣютъ мѣсто и у насъ и въ тѣже самые часы, въ какіе и подъ тропиками; все отличіе состоитъ только въ томъ, что разность между наибольшею и наименьшею высотами барометра въ 10 и въ

4 часа у насъ гораздо меньше, нежели между тропиками, и эти разности становятся тѣмъ меньше чѣмъ больше будемъ удаляться отъ тропиковъ и наконецъ подъ широтою 70° онѣ незамѣтны. Подъ тропиками эта разность = 0,07, въ Петербургѣ она = 0,01 дюйм. Если же сложимъ всѣ высоты барометра, найденныя такимъ образомъ, независимо отъ неправильныхъ измѣненій и сдѣланныя въ продолженіи многихъ часовъ дня, то получимъ такъ называемую *среднюю* высоту барометра, которая у насъ равна 30 дюйм. Что касается до неправильныхъ измѣненій барометра, то они подъ тропиками едва замѣтны а далѣе къ полюсамъ они становятся болѣе и болѣе. Впрочемъ и въ этихъ измѣненіяхъ открыты нѣкоторые законы, именно связь ихъ съ направленіемъ вѣтровъ; такъ напр. у насъ при сѣверовосточномъ вѣтрѣ барометръ достигаетъ наибольшей высоты, при югозападномъ наименьшей. Мы возвратимся къ этому предмету послѣ.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

ОБЪ УПРУГОСТИ ВОЗДУХА И О ВОЗДУШНОМЪ НАСОСѢ.

§ 108.

Удостовѣрившись посредствомъ барометра въ томъ, что воздухъ есть тяжелое тѣло и узнавши способъ измѣрять съ точностію давленіе его, изслѣдуемъ подробнѣе законы упругости его. Мы видѣли, что упругость воздуха, или вообще всѣхъ газовъ, зависитъ отъ взаимнаго отталкиванія собственныхъ частицъ; еслибы этому отталкива-

нію не противодѣйствовало внѣшнее давленіе, то частицы газовъ отдѣлялись бы другъ отъ друга болѣе и болѣе; въ атмосферномъ воздухѣ отталкиванію частицъ противодѣйствуетъ притяженіе ихъ къ землѣ; безъ этого атмосфера совершенно отдѣлилась бы отъ земли. Когда усиливается внѣшнее давленіе на газъ, то частицы его сближаются, и отъ этого увеличивается отталкивающая сила, которая наконецъ дѣлается такъ велика, что она можетъ уравновѣшивать сильнѣйшее давленіе. Итакъ опредѣленный объемъ газа, подверженный давленію, приводится въ меньшее пространство; теперь раждается вопросъ: въ какомъ отношеніи находится это уменьшеніе объема къ дѣйствующему давленію? Маріотъ первый доказалъ, *что уменьшеніе занимаемаго газомъ пространства пропорціонально давленію,* или что тоже: *давленіе обратно пропорціонально объему газа.* Этотъ законъ названъ по имени его Маріотовымъ. Если по этому возмемъ одинъ кубическій футъ воздуха, находящагося подъ тѣмъ давленіемъ, которое производится на него на земной поверхности и подвергнемъ его двойному давленію, то это количество будетъ занимать только $1/2$ кубическаго фута; еслибы давленіе сдѣлалось въ 10 разъ больше, то только $1/_{10}$ кубичес. фута и т. д. Такъ какъ въ первомъ случаѣ тоже самое количество воздуха заняло $1/2$ прежняго пространства, а во второмъ $1/_{10}$ тогоже пространства, то плотность его въ первомъ случаѣ сдѣлалась вдвое, а во второмъ вдесятеро больше первоначальной плотности. Итакъ въ слѣдствіе Маріотова закона мы можемъ сказать, что плотность находится въ прямомъ отношеніи съ давленіемъ.

Для доказательства Маріотова закона поступаютъ слѣдующимъ образомъ: пусть ABC будетъ загнутая трубка,

какъ показано въ фигурѣ (фиг. 125); короткій конецъ ея C запаянъ, а длинный A открытъ; сперва наливаютъ въ трубку столько ртути, чтобы въ обѣихъ вѣтвяхъ она стояла на одной высотѣ при m и n; это можетъ быть только тогда, когда давленіе внѣшняго воздуха равно давленію заключеннаго въ части nC, слѣд. воздухъ, находящійся въ nC находится подъ давленіемъ атмосферы, которое, какъ мы видѣли, можно измѣрить посредствомъ барометра. Положимъ, что въ нашемъ опытѣ это давленіе равно 30 дюймамъ; если въ конецъ A нальемъ еще ртути, то давленіе со стороны mA увеличится и слѣд. воздухъ содержащійся въ nC будетъ сжатъ; мы прибавляемъ ртути до тѣхъ поръ, пока пространство Cn будетъ вдвое меньше, нежели прежде т. е. до того, что высота ртути въ короткой вѣтви будетъ стоять при n'. Если измѣримъ высоту $m'p$, которая показываетъ чѣмъ выше стоитъ ртуть въ длинной вѣтви, нежели въ короткой, то найдемъ, что эта разность равна 30 дюймамъ. Но воздухъ заключенный въ n'C подверженъ теперь и этому давленію и первоначальному давленію атмосферы; оба эти давленія равны, слѣд. подъ двойнымъ давленіемъ дѣйствительно объемъ воздуха Cn сдѣлался вдвое меньше. Чтобы довести воздухъ до одной трети первоначальнаго объема, мы должны налить ртути еще 30 дюймовъ и т. д. Подобнымъ образомъ можно доказать, что при уменьшеніи атмосфернаго давленія, воздухъ расширяется пропорціонально этому уменьшенію. Для этого берутъ стеклянную трубку, запаянную съ одного конца и имѣющую во внутреннемъ діаметрѣ отъ 3 до 4 линій; наливаютъ въ нее ртути напр. до $2/3$ всей длины, потомъ открытый конецъ закрываютъ пальцемъ, переворачиваютъ трубку, погружаютъ закрытый пальцемъ конецъ въ ртуть и потомъ отнимаютъ палецъ; воздухъ немедленно подни-

мется въ верхнюю часть трубки. Потомъ станемъ погружать трубку въ ртуть до тѣхъ поръ, пока она внѣ и внутри трубки будетъ стоять на одной высотѣ, какъ это видно въ m, гдѣ показывается внутренняя поверхность и въ MN, гдѣ означается поверхность внѣшней ртути. Такъ какъ въ этомъ случаѣ ртуть внутри трубки уравновѣшивается внѣшнею, то воздушное давленіе должно быть равно упругости воздуха, заключеннаго въ трубкѣ; слѣд. эту послѣднюю, если высота барометра равна 30 дюймамъ, должно считать также равною 30 дюймамъ. Если поднимемъ трубку, то въ ней пространство занимаемое воздухомъ увеличится, слѣд. воздухъ будетъ расширяться, упругость его уменьшиться, и по этому атмосферное давленіе, взявши надъ нею перевѣсъ, подниметъ ртуть въ трубкѣ. Если поднимемъ трубку до того, чтобъ высота mn ртути содержащейся въ ней равна была половинѣ атмосфернаго давленія т. е. 15 дюймамъ, то найдемъ, что теперь пространство nA сдѣлалось вдвое больше парвоначальнаго. Но въ этомъ случаѣ упругость очевидно равна давленію атмосферному безъ давленія ртутнаго столба mn, слѣд. $= 30 - 15 = 15$; и такъ упругость дѣлается вдвое меньше, когда объемъ становится вдвое больше. Также можно доказать, что оно дѣлается въ $1^1/_2$ раза больше, когда высота ртутнаго столба mn равна 10 дюймамъ, или когда упругость $= 30 - 10 = 20$, слѣд. составляетъ $^2/_3$ первоначальной упругости и т. д. Такимъ образомъ доказано, что законъ Маріота совершенно справедливъ между предѣлами, начиная отъ весьма малаго давленія, до давленія 30 атмосферъ.

§ 109.

Основываясь на этомъ законѣ можно сдѣлать какое нибудь пространство пустымъ посредствомъ такъ называе-

маго *воздушнаго насоса* или *пневматической машины*. Чтобы понять прежде всего возможность этого и законы, по которымъ измѣняется воздухъ посредствомъ насоса, мы представимъ его въ самомъ простомъ видѣ. Пусть A представляетъ пустой шаръ, изъ котораго надобно вытянуть воздухъ (фиг. 127. I); пусть внизу находится металлическая шейка, кототорую можно посредствомъ крана H открывать или плотно закрывать. Шейку навинчиваютъ на пустой металлическій или стеклянный цилиндръ P, въ которомъ посредствомъ стержня M можно двигать поршень S, и притомъ такъ, чтобы воздухъ не проходилъ между стѣнками цилиндра и поршнемъ. Въ K находится трубка, которую можно закрывать краномъ. Наконецъ для большей простоты предположимъ, что когда поршень вытянутъ сколько возможно больше, вмѣстимость цилиндра P равна вмѣстимости шара A. Если откроемъ кранъ K и станемъ поднимать поршень до тѣхъ поръ, пока онъ коснется верхняго дна цилиндра, то весь воздухъ выдетъ изъ P чрезъ K. Если закроемъ K, откроемъ H и вытянемъ поршень опять до первональнаго мѣста его, то въ P произойдетъ пустое пространство, равное пространству A, слѣд. содержащійся въ A воздухъ по причинѣ упругости своей войдетъ въ пространство P и будетъ наполнять одинаковымъ образомъ какъ A такъ и P; по этому въ A останется только половина воздуха, и такъ, если первоначальное количество воздуха будетъ M, то теперь останется $\frac{M}{2}$. Теперь закроемъ H и откроемъ K; такъ какъ внѣшнее давленіе атмосферы сильнѣе упругости содержащагося въ P разрѣженнаго воздуха, то внѣшній воздухъ войдетъ въ P; а если мы поднимаемъ поршень S, то этотъ воздухъ выйдетъ чрезъ K. За-

кроемъ опять K и опустимъ поршень до нижняго дна; тогда содержащійся въ A воздухъ опять распространится въ P и въ A останется только половина его; но такъ какъ до открытія крана H въ A оставалось уже только одна половина, то теперь въ немъ будетъ $^1/_4$ M. Этотъ воздухъ мы опять выгонимъ чрезъ K, открывая этотъ кранъ. Если опять закроемъ K, откроемъ H и опустимъ внизъ поршень, то въ A останется половина $^1/_4$ M, слѣд. $^1/_8$ M. Подобнымъ образомъ продолжая это дѣйствіе далѣе, послѣ четвертаго опущенія поршня внизъ, получимъ $^1/_{16}$ M. и т. д. Слѣд. вообще послѣ n опущеній поршня получимъ $\frac{1}{2^n}$ M. Еслибы вмѣстимость P не была равна A но напр. $= A'$, то воздухъ, занимавшій прежде объемъ A, теперь займетъ объемъ $A + A'$. Слѣд. въ A оставшееся количество воздуха будетъ равно части $\frac{A}{A+A'}$ первоначальнаго. И такъ послѣ перваго опущенія поршня внизъ оставшееся въ шарѣ количество воздуха будетъ равно $\frac{A}{A+A'}\cdot$ M.

$$\text{послѣ втораго} \ldots\ldots\ldots\ldots \left(\frac{A}{A+A'}\right)^2 \cdot M$$

$$\text{послѣ } n^{\text{го}} \ldots\ldots\ldots\ldots \left(\frac{A}{A+A'}\right)^n M.$$

Мы видимъ, что это послѣднее выраженіе $\left(\frac{A}{A+A'}\right)^n$ никогда не можетъ быть $= 0$, какъ бы велико не было n; слѣд. и по теоріи мы никогда не можемъ посредствомъ воздушнаго насоса произвести совершенную пустоту, какова наприм. торичелліева, но можемъ приближаться къ этому предѣлу болѣе и болѣе. Такъ напр. если опять предположимъ, что пространства A и P равны, то получимъ по-

слѣ 10 опущеній поршня, оставшуюся часть воздуха равную

$$\frac{1}{2^{10}}\cdot M = \frac{1}{1024}\cdot M.$$

слѣд. менѣе, нежели тысячную часть первоначальнаго количества. Но въ практикѣ мы гораздо медленнѣе приближаемся къ этимъ предѣламъ особенно тогда, когда воздушный насосъ устроенъ такъ, какъ мы описали его. Въ самомъ дѣлѣ въ этомъ насосѣ между верхнимъ дномъ шейки и краномъ есть пространство m, которое при опусканіи поршня находится въ сообщеніи со внѣшнимъ воздухомъ и слѣд. наполняется воздухомъ равной упругости. Когда поршень доходитъ до верхняго дна и кранъ K закрывается, а H открывается, то этотъ воздухъ распространяется въ шарѣ, въ которомъ заключающійся воздухъ имѣетъ меньшую упругость; и такъ если бы и можно было изъ шара A совершенно вытянуть весь воздухъ, то покрайней мѣрѣ вошелъ бы въ A опять этотъ воздухъ, который находился въ m. По этому это пространство, содержащееся между краномъ и дномъ поршня, называется въ воздушномъ насосѣ *вреднымъ пространствомъ*, и нужно стараться уменьшить его какъ можно больше.

§ 110.

Для того чтобъ удобнѣе можно было вытянуть воздухъ изъ какого нибудь сосуда, устроиваютъ воздушный насосъ другимъ образомъ, нежели какъ мы до сихъ поръ полагали. Во первыхъ, чтобъ не открывать безпрестанно крановъ, употребляютъ вмѣсто ихъ два клапана (фиг. 127. II) одинъ, находящійся въ нижнемъ днѣ шейки въ n, и открывающійся внизъ, другой въ m въ самомъ поршнѣ S, имѣющемъ посрединѣ сквозной каналъ. Когда поршень опус-

кается, то въ P образуется пустое пространство; внѣшній воздухъ стремится проникнуть сюда, отъ этого клапанъ *m* закрывается и преграждаетъ ему путь. Но воздухъ содержащійся въ A, открывая клапанъ *n*, входитъ въ это пространство. Если станемъ поднимать поршень вверхъ, то воздухъ въ P опять стремится въ A, но отъ этого самъ закрываетъ клапанъ *n*, итакъ какъ онъ сжимаясь мало по малу пріобрѣтаетъ большую упругость, то онъ откроетъ наконецъ клапанъ *m* и выдетъ вонъ. Если опять опустимъ поршень, то опять *m* закроется, а *n* откроется; итакъ клапаны замѣняютъ краны, и то безъ помощи того, кто производитъ опытъ.

Для большой удобности при употребленіи дали воздушному насосу еще другой видъ, хотя начала, на которыхъ основывается устройство его, остаются однѣ и тѣже. Фиг. 128 представляетъ обыкновенную машину такого рода. MN есть столъ, къ которому отвѣсно прикрѣплены пустые цилиндры A и A′; въ обоихъ плотно двигаются поршни C и C′, имѣющіе на срединѣ сквозные каналы, закрываемые двумя клапанами *m* и *m′*, которые поднимаются вверхъ. Стержни поршней зубчатые; они съ обѣихъ сторонъ посредствомъ своихъ зубцевъ захватываются колесомъ D, такъ что они, отъ движенія рукоятки F въ ту и другую сторону, поднимаютъ и опускаютъ поршни въ цилиндрахъ. Нижняя часть цилиндровъ соединяется посредствомъ трубокъ съ плоскою тарелкою K, въ которой трубка G имѣетъ свое отверстіе. Если накроемъ тарелку стекляннымъ колоколомъ, котораго края немного смазаны жирнымъ веществомъ, то посредствомъ трубки G можно изъ колокола вытянуть воздухъ, при чемъ клапаны *m* и *m′* въ поршняхъ и клапаны *n* и *n′*, закрывающіе нижнія отверстія цилиндровъ, дѣйствуютъ такъ какъ показано было

(фиг. 127. II). При такомъ устройствѣ мы имѣемъ ту выгоду, что при всякомъ движеніи рукоятки одинъ изъ поршней вытягиваетъ воздухъ, именно выходящій, между тѣмъ, какъ другой, опускаясь внизъ, выгоняетъ воздухъ содержащійся въ томъ цилиндрѣ, въ которомъ онъ движется.

Въ машинахъ такого рода клапаны не такой имѣютъ видъ, который показанъ для большей ясности въ фиг. 127. II, но они состоятъ изъ тафтяныхъ непроницаемыхъ воздухомъ треугольниковъ, какъ *abc* (фиг. 128. II); ABC представляетъ поверхность поршня, *n* отверстіе, сдѣланное въ немъ; на угловыхъ точкахъ *a*, *b*, *c* треугольники эти укрѣплены, средина же ихъ можетъ не много подниматься надъ отверстіемъ *n* и пропускать воздухъ, когда онъ будетъ давить снизу; когда же онъ давитъ сверху, то клапаны закрываются.

§ 111.

При употребленіи воздушнаго насоса особенно важно знать, сколько воздуха остается въ колоколѣ; для этого по большой части употребляютъ или обыкновенный барометръ, или такъ называемый *элатерометръ*. Барометръ, употребляемый для этого, состоитъ изъ стеклянной трубки CF (фиг. 128. I), длина которой болѣе 30 дюйм., соединенной съ трубкою GK, соединяющею колоколъ съ цилиндромъ и погруженной нижнимъ концемъ въ сосудъ MN наполненный ртутью. Когда воздухъ колокола вытягивается, то онъ выходитъ вмѣстѣ и изъ барометрической трубки CF, соединенной съ нимъ; отъ этого давленіе внѣшняго воздуха на MN беретъ перевѣсъ, ртуть поднимается въ трубкѣ FC и если бы посредствомъ воздушнаго насоса весь воздухъ былъ вытянуть, то очевидно она поднялась бы на такую высоту, на которой она стоитъ въ это мгновеніе въ барометрѣ; но такъ

какъ въ колоколѣ всегда остается нѣкоторая часть воздуха, оказывающая давленіе на ртуть, то высота ртути будетъ меньше высоты, на которой она находится въ барометрѣ съ совершенною торичеллієвою пустотою и разность между этими высотами послужитъ мѣрою оставшагося въ колоколѣ воздуха. Если напр. высота барометра $=30$ дюйм., высота барометра при насосѣ $=29,8$, то упругость оставшагося въ колоколѣ воздуха $=0.2$ дюйм. Слѣд. количество оставшагося въ колоколѣ воздуха $=\frac{0,2}{30}=\frac{1}{150}$ первоначальнаго воздуха.

Такъ какъ длина барометрической трубки должна быть по крайней мѣрѣ 30 дюймовъ, то по этому барометръ неудобенъ для употребленія при воздушномъ насосѣ и поелику не нужно знать, на сколько уменьшается количество воздуха подъ колоколомъ при каждомъ движеніи поршня, но требуется только опредѣлить сколько остается его подъ конецъ всего дѣйствія, когда уже пространство сдѣлано сколько возможно пустымъ, то удобнѣе употреблять усѣченный барометръ или элатерометръ. Пусть GK (фиг. 129) будетъ трубка, соединяющая колоколъ воздушнаго насоса съ цилиндрами; въ C привинчивается къ ней стеклянная трубка загнутая въ три колѣна, какъ CDEF; въ F она запаяна, а пространство KEF наполнено ртутью, которая отъ давленія воздуха на K держится при F. При вытягиваніи воздуха это давленіе на K становится меньше и меньше и наконецъ оно сдѣлается такъ мало, что не можетъ удерживать ртуть на высотѣ F, равной 2 или 3 дюймамъ. Итакъ ртуть понижается въ F и повышается въ K, и высота ея сдѣлалась бы одинаковою въ обоихъ колѣнахъ, еслибъ можно было совершенно вытянуть весь воздухъ изъ колокола и слѣд. изъ трубокъ GK и CDK: но такъ какъ

этого не возможно сдѣлать, то разность высоты ртути въ обоихъ колѣнахъ элатерометра показываетъ упругость и вмѣстѣ уменьшеніе плотности воздуха.

Воздушный насосъ изобретенъ Магдебургскимъ Бургомистромъ, Отто фонъ Герике; по этому пустота, производимая посредствомъ воздушнаго насоса, называется герикевою пустотою для отличія отъ торичеллієвой пустоты въ барометрѣ, которая одна есть совершенная пустота.

§ 112.

Посредствомъ воздушнаго насоса можно дѣлать много опытовъ, которые всѣ основываются на томъ, что съ одной стороны изъ закрытаго сосуда вытягиваютъ воздухъ, котораго упругость прежде уравновѣшивала давленіе съ другой стороны; такимъ образомъ это послѣднее давленіе можетъ дѣйствовать съ значительною силою. Мы приведемъ здѣсь нѣкоторые изъ этихъ опытовъ.

Два металлическія пустыя полушарія ACD и BCD (фиг. 130) плоско шлифованныя на краяхъ C и D, кладутся одно на другое и между этими краями намазывается слой сала; отъ этого воздухъ, содержащійся внутри шара совершенно отдѣленъ отъ внѣшняго. Изъ одного полушарія идетъ трубка F, которую можно плотно закрыть краномъ H; ее ввинчиваютъ въ отверстіе тарелки воздушнаго насоса и вытягиваютъ изъ шара воздухъ сколько возможно болѣе; тогда запирается кранъ H и шаръ отвинчивается. Если возмемся за кольца полушарій A и B, то мы не можемъ разорвать ихъ, потому что воздухъ, производя давленіе на внѣшнія поверхности, удерживаетъ ихъ съ большою силою, которая теперь не уравновѣшивается

извнутри, какъ это было тогда, когда внутренній воздухъ не былъ еще вытянутъ. Этотъ опытъ въ первый разъ былъ сдѣланъ Оттономъ Герике въ 1654 году въ Магдебургѣ съ большими полушаріями, которыхъ не могли оторвать другъ отъ друга лошади, привязанныя съ той и другой стороны; по этому эти полушаріи называются *Магдебургскими*. Совершенно подобное явленіе видимъ, когда вытягиваемъ воздухъ изъ колокола, стоящаго на тарелкѣ воздушнаго насоса; колоколъ такою силою удерживается на тарелкѣ, что мы не въ состояніи оторвать его, пока не впустимъ опять атмосфернаго воздуха и черезъ это не противопоставимъ внѣшнему давленію равное ему, дѣйствующее извнутри.

Плотно завязанный и содержащій не много воздуха пузырь, положенный подъ колоколъ воздушнаго насоса, надувается и даже лопнетъ, когда вытянемъ изъ колокола воздухъ. При вытягиваніи воздуха внѣшнее давленіе на пузырь уменьшается, слѣд. заключенный въ пузырѣ воздухъ расширяется до тѣхъ поръ, пока наконецъ пузырь не въ состояніи будетъ выдержать этого давленія. Тоже самое явленіе, только въ обратномъ видѣ, бываетъ въ томъ случаѣ, когда на одинъ конецъ AB сосуда, открытаго съ обоихъ концевъ (фиг. 131), натянемъ пузырь или плотно прикроемъ его тонкимъ стекломъ, а другимъ концемъ CD положимъ на тарелку насоса и потомъ изъ пространства ABCD вытянемъ воздухъ. Отъ давленія внѣшняго воздуха пузырь мало по малу принимаетъ видъ, показанный на фигурѣ, пока наконецъ онъ лопнетъ; тоже бываетъ и съ стекломъ.

Если на тарелку AB воздушнаго насоса поставимъ колоколъ (фиг. 132), въ верхнее отверстіе котораго вдѣлана деревянная палочка C, оканчивающаяся въ верху чашечкою,

куда наливается ртуть и потомъ вытянемъ изъ колокола воздухъ, то давленіе внѣшняго воздуха дѣйствующее на C прогоняетъ ртуть черезъ скважины дерева и она падаетъ внизъ въ видѣ мелкаго дождя. Для того, что бы ртуть не вошла въ отверстіе E сообщительной трубки, подъ колоколомъ ставится чашечка DF, но такъ что бы она не закрывала отверстія E.

Величину давленія во всѣхъ подобныхъ опытахъ не трудно опредѣлить, ибо оно равно давленію столба ртути, имѣющему тоже основаніе, а высоту $= 30$ дюймовъ. Мы видѣли (§ 85), что это давленіе на 1 квадратный дюймъ $= 16^1/_3$ фунтовъ.

§ 113.

Какъ посредствомъ обыкновеннаго воздушнаго насоса можно разрѣдить воздухъ весьма значительно, такимъ же образомъ посредствомъ подобнаго прибора можно сгустить его; для этого нужно только, что бы клапаны открывались въ противную сторону. Представимъ себѣ прежній нашъ цилиндръ P, въ которомъ движется просверленный поршень S (фиг. 127 II); въ n' и m' находятся два клапана, которые открываются не снаружи внутрь, какъ прежде m и n, но изъ внутри наружу; легко видѣть, что тогда воздухъ въ A долженъ сгущаться. Въ самомъ дѣлѣ когда поднимаемъ поршень, то клапанъ m' закрывается, а n' открывается отъ дѣйствія упругости воздуха, содержащагося въ цилиндрѣ; слѣд. воздухъ цилиндра входитъ въ A и сгущаетъ прежде уже находившійся тамъ воздухъ. Если потомъ опускаемъ поршень, то отъ упругости этого воздуха запирается клапанъ n', напротивъ m' откроется отъ внѣшняго воздуха, которымъ цилиндръ наполнится. При второмъ поднятіи поршня этотъ воздухъ опять, какъ и прежде, войдетъ въ A и такъ далѣе. Такъ какъ въ продолженіе сгущенія да-

вленіе воздуха, заключеннаго въ шарѣ, болѣе и болѣе беретъ перевѣсъ надъ давленіемъ внѣшняго, то шаръ долженъ быть довольно крѣпокъ для того, что бы онъ не лопнулъ. Для небольшаго сдавленія обыкновенно употребляютъ стеклянный колоколъ, какъ при разрѣженіи, который кладется на тарелку сгустительнаго насоса. Эти колокола дѣлаются изъ стекла въ полдюйма или больше толщиною и придавливаются къ тарелкѣ крѣпкими винтами, потому что здѣсь давленіе не пригнѣтаетъ колокола къ тарелкѣ, но напротивъ сбрасываетъ его съ оной. Если требуется сгустить воздухъ еще больше, то для этого употребляютъ металлическіе цилиндры съ весьма толстыми стѣнками. Для измѣренія давленія употребляютъ другой родъ элатерометровъ, отличный отъ первыхъ; въ самомъ простомъ видѣ онъ состоитъ изъ стеклянной трубки, которой внутреннее отверстіе весьма малаго діаметра, а стѣнки толстые (фиг. 133); на одномъ концѣ B она закрыта, открытымъ же концемъ A сообщается съ воздухомъ того сосуда, въ которомъ хотятъ произвести сгущеніе. Въ открытомъ концѣ трубки находится капля C ртути, часть же CB наполнена воздухомъ. Предположимъ, что капля внутреннимъ концемъ своимъ стоитъ на 100, когда еще воздухъ, содержащійся въ концѣ A не сгущенъ и мы раздѣлимъ трубку начиная отъ этой точки на 100 равныхъ объемовъ, до закрытаго конца B. Когда увеличится давленіе воздуха, находящагося въ сообщеніи съ открытымъ концемъ, то воздухъ въ трубкѣ сжимается, капля ртути подвигается къ закрытому концу, такъ что внутренняя оконечность ея не будетъ стоять на 100, но напр. на 25, слѣд. теперь воздухъ займетъ вмѣсто 100 частей только 25, по этому упругость его по закону Маріота теперь

будетъ въ 4 раза больше прежняго; тогда говорятъ, что давленіе равно *четыремъ атмосферамъ*.

Силу крѣпко сжатаго воздуха употребляютъ для того, что бы выстрѣлить пулю посредствомъ такъ называемыхъ *воздушныхъ ружьевъ* (фиг. 134). Въ нихъ пуля загоняется въ стволъ AB, который концемъ B сообщается съ пространствомъ C, какъ скоро будетъ открытъ клапанъ *m* посредствомъ курка F. Въ C посредствомъ особеннаго насоса воздухъ сгущается; какъ скоро клапанъ *m* будетъ открытъ, крѣпко сжатый воздухъ ударитъ въ пулю и съ великою силою выстрѣлитъ ее вонъ

§ 114.

Зная законъ, по которому сжимается воздухъ при увеличеніи давленія, мы можемъ себѣ изъяснить плотность атмосферы на различныхъ высотахъ надъ поверхностію земли. Такъ какъ на нижніе слои воздуха давитъ тяжесть всѣхъ верхнихъ слоевъ, то плотность ихъ должна быть болѣе плотности прочихъ слоевъ и легко видно, что она сначала должна уменьшаться очень скоро, потомъ медленнѣе и медленнѣе. Въ самомъ дѣлѣ представимъ себѣ напр. что вертикальный воздушный столбъ AB (фиг. 135) раздѣленъ на 1000 слоевъ равной толщины *a*, *b*, *c*, *d* и проч.; на первый нижній слой *a* будутъ давить 999 слоевъ, на второй снизу *b* 998, на третій *c* 997; но второй слой *b*, отъ давленія котораго зависитъ большая плотность нижняго, плотнѣе третьяго слоя *c*, который увеличиваетъ плотность втораго, слѣд. разность плотностей *a* и *b* также будетъ больше разности *b* и *c* и т. д. вверхъ. Теперь такъ какъ высоты барометра пропорціональны давленію воздуха на тѣхъ высотахъ, гдѣ находится барометръ,

то и высота барометра будетъ уменьшаться тѣмъ больше, чѣмъ выше станемъ подниматься. Паскаль первый показалъ, что въ самомъ дѣлѣ ртуть въ барометрѣ стоитъ ниже на горахъ, нежели на равнинахъ. Но притомъ изъ выше сказаннаго слѣдуетъ, что высота барометра сперва должна уменьшаться съ увеличиваніемъ высоты скорѣе, нежели притомъ же увеличеніи высоты на большихъ возвышеніяхъ и въ самомъ дѣлѣ надъ поверхностію моря находятъ, что барометръ понижается на 1 дюймъ, когда поднимаются на 950 футовъ, тогда какъ для втораго пониженія равнаго 1 дюйму должно подняться на 975 футовъ, потомъ на 1000 футовъ и т. д. Изъ этого мы видимъ, что барометръ даетъ простое средство опредѣлять, на какой высотѣ мы находимся надъ поверхностію моря; нужно будетъ только смотрѣть на сколько онъ понижается, когда мы поднимаемся вверхъ и потомъ изъ извѣстной формулы, которую мы здѣсь не можемъ подробнѣе изслѣдовать, опредѣлить какой высотѣ соотвѣтствуетъ наблюдаемое пониженіе барометра.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

ПРИБОРЫ, ТЕОРІЯ КОТОРЫХЪ ОСНОВЫВАЕТСЯ НА ТЯЖЕСТИ И УПРУГОСТИ ВОЗДУХА.

§ 115.

О насосахъ.

Насосы служатъ для того, что бы поднять воду на значительную высоту. Различаютъ два рода насосовъ, всасывающій и толкательный.

Всасывающій насосъ основывается на механизмѣ, весьма подобномъ механизму воздушнаго насоса. Къ пустому цилиндру насоса ABCD (фиг. 136) внизу присоединяется вертикальная трубка KL, которая погружается въ воду MQ и называется всасывающею трубкою. Въ цилиндрѣ посредствомъ стержня NH, движется вверхъ и внизъ плотно закрывающій поршень N; въ срединѣ онъ просверленъ и закрытъ сверху клапаномъ *m*, открывающимся вверхъ; подобный клапанъ *n* находится и при K. Если будемъ опускать поршень до самаго дна, то находящійся подъ нимъ воздухъ будетъ сжатъ, клапанъ *n* закроется и клапанъ *m* поднимется; если поднимемъ поршень, то клапанъ *m* отъ давленія внѣшняго воздуха закроется; подъ поршнемъ произойдетъ пустота; воздухъ находящійся во всасывающей трубкѣ надъ MQ расширится, откроетъ *n* и войдетъ подъ поршень. Но такъ какъ расширенный такимъ образомъ воздухъ производитъ меньшее давленіе на MQ, нежели извнѣ атмосферный воздухъ, то вода въ всасывающей трубкѣ будетъ подниматься и именно до тѣхъ поръ, пока поднявшійся водяной столбъ и упругость оставшагося подъ поршнемъ воздуха будутъ уравновѣшивать давленіе внѣшняго воздуха, которое должно быть предположено равнымъ 34 футамъ воды; когда опять опустимъ поршень, то открывши клапанъ *m*, воздухъ выйдетъ, а также и вода, если она уже поднялась выше CD. При второмъ поднятіи поршня, какъ уже весь воздухъ вышелъ, вода поднимется до нижней поверхности поршня, при опусканіи же она займетъ мѣсто надъ нимъ и потомъ при поднятіи поднимается съ нимъ вмѣстѣ и вытекаетъ черезъ трубку P. Таково устройство обыкновенныхъ колодезныхъ насосовъ.

§ 116.

Устройство *толкательнаго насоса* (фиг. 137) основывается на тѣхъ же началахъ, на какихъ и всасывающій; различіе состоитъ только въ томъ, что вода поднявшаяся въ цилиндрѣ не восходитъ на поршень, потому что онъ не просверленъ, но проходитъ въ боковую загнутую вверхъ трубку KL, которой клапанъ *m* открывается кверху. Дѣйствіе этого клапана такое же, какое имѣетъ клапанъ *m* всасывающаго насоса. Если въ этомъ насосѣ вмѣсто длинной трубки KL, загибающейся кверху для истеченія воды, употребимъ гибкую трубку, имѣющую на концѣ узкое отверстіе, и если при этомъ случаѣ сильно будемъ давить на поршень, то вода будетъ бить изъ этого отверстія въ видѣ фонтана, которому посредствомъ гибкой трубки можемъ давать какое угодно направленіе. Этимъ пользуются при употребленіи пожарныхъ трубъ. Но такое устройство имѣло бы ту неудобность, что вода выбрасывалась бы только тогда, когда понижается поршень, при поднятіи же его истеченіе воды прекратилося бы и мы имѣли бы не безпрерывно бьющую водяную жилу, но перемежающуюся, а это для пожарныхъ трубъ не выгодно. Чтобы получить безпрерывно бьющую водяную жилу, пожарнымъ трубамъ даютъ слѣдующее устройство (фиг. 138); два толкательныя насоса гонятъ воду въ одну трубку, но такъ, что когда одинъ изъ нихъ вбираетъ въ себя воду, другой выталкиваетъ ее изъ себя и т. д. Стержни обоихъ поршней прикрѣпляются къ одному рычагу FD обращающемуся около C; стержни KA и LB въ точкахъ A и B и въ K и L снабжены колѣнами; S и T суть двѣ всасывающія трубки, которыя внизу сходятся въ одну трубку, касающуюся поверхности воды MN; въ *m* и *n* находятся клапаны восходящей трубки, и легко видно, что они не мѣшаютъ другъ

другу въ дѣйствіи, потому что когда одинъ открывается, другой остается закрытымъ. Но и здѣсь будетъ такое мгновеніе, что одинъ поршень перестаетъ подниматься, а другой опускаться и прежде нежели они начнутъ двигаться по противоположнымъ направленіямъ, водяная жила перестанетъ бить. Но и этого неудобства избѣгаютъ приводя восходящую трубку въ сообщеніе съ закрытымъ сосудомъ, который наполненъ возухомъ (фиг. 139). Чтобы лучше видѣть дѣйствіе такого устройства представимъ себѣ опять простой толкательный насосъ съ тѣмъ только различіемъ, что восходящая трубка KL доходитъ до дна закрытаго сосуда PQR, наполненнаго воздухомъ. Когда вода отъ движенія поршня войдетъ черезъ клапанъ *m* въ сосудъ, то она доходитъ до MN, сжимаетъ воздухъ въ пространствѣ MNP, а остальная часть воды входитъ въ трубку KL. При каждомъ движеніи поршня, одна часть силы, употребляемой для движенія поршня, служитъ для того чтобъ снова сжать воздухъ въ MNP, остальная же только часть поднимаетъ воду въ трубкѣ. Тогда когда поршень поднимается и слѣд. нѣсколько времени не входитъ воды въ сосудъ, клапанъ *m* закрывается, воздухъ сжатый въ MNP расширяется и гонитъ воду въ трубку, такъ что, когда фонтанъ не будетъ произведенъ насосомъ, онъ поддерживается дѣйствіемъ сжатаго въ сосудѣ воздуха. Итакъ сжатый воздухъ служитъ какъ бы запасомъ силы; ибо та часть силы, которая при пониженіи поршня теряется на сжатіе воздуха, дѣйствуетъ опять тогда, когда поршень не производитъ никакого дѣйствія. По этому не должно думать, что здѣсь мы выигрываемъ новую силу, ибо самонедѣятельная матерія не можетъ ее произвести сама по себѣ, какъ мы это уже

видѣли, когда говорили о машинахъ, но для требуемой цѣли сила раздѣляется выгоднѣйшимъ образомъ.

§ 117.

Маріотова трубка (фиг. 140) служитъ для произведенія равномѣрнаго истеченія какой нибудь жидкости изъ сосуда, хотя высота вытекающей воды безпрестанно уменьшается. Пусть ABCD будетъ резервуаръ воды, которая можетъ вытекать изъ K. Сверху онъ плотно закрытъ крышкою AB, имѣющею отверстіе, въ которомъ чрезъ кожаное, жиромъ намазанное кольцо двигается цилиндрическая трубка GF, открытая сверху и снизу. Предположимъ, что сосудъ наполненъ водою и снизу открытъ кранъ K. Если представимъ себѣ, что чрезъ нижнее отверстіе F трубки проведена горизонтальная плоскость MN, то вода, находящаяся надъ поверхностію MN, будетъ поддерживаться воздушнымъ давленіемъ оказываемымъ на F, распространяющимся во всѣ стороны, а слѣд. и вверхъ посредствомъ воды находящейся подъ MN; слѣд. давленіе воды, находящейся выше MN не будетъ дѣйствовать на нижнюю воду, которая по этому будетъ вытекать со скоростію приличною высотѣ давленія DN. Когда вытечетъ нѣсколько воды, то въ MN произойдетъ пустое пространство и воздухъ войдетъ въ сосудъ чрезъ трубку FG, поднимется по причинѣ легкости въ видѣ пузырьковъ и соберется при AB, а часть верхней воды понизится подъ MN и поэтому начнетъ производить на истекающую воду давленіе, которое въ слѣдствіе сего постоянно измѣряется высотою DN. Такимъ образомъ вода, находящаяся вверху, всегда служитъ только для того, чтобъ замѣнить находящуюся подъ MN и вытекающую, не производя на нее никакого давленія. Поэтому мы можемъ описанный приборъ съ успѣхомъ употребить для доказательства истеченія воды изъ узкихъ отверстій (§ 101). Напр. мы поднимаемъ трубку FG вверхъ такъ высоко, чтобъ DN было равно 4 дюймамъ, и измѣряемъ количество воды вытекающей въ опредѣленное время напр. въ одну минуту. Потомъ опять поднимаемъ трубку до того, чтобъ DN было равно 16 дюймамъ и опять измѣряемъ количество воды вытекшей чрезъ K въ 1 минуту. Мы найдемъ, что послѣднее количество будетъ вдвое больше прежняго, между тѣмъ какъ во второмъ опытѣ высота давленія была въ 4 раза больше, такъ что количества истекшей воды и (какъ отверстіе K остается однимъ и тѣмъ же) скорости истеченія относятся какъ квадратные корни изъ высотъ давленія.

§ 118.

На совершенно подобныхъ началахъ основывается устройство многихъ въ общежитіи употребляемыхъ приборовъ, напр. устройство *Аргантовыхъ лампъ*. Пусть D будетъ свѣтильня (фиг. 141. I), выходящая изъ сосуда B, содержащаго масло. Для того чтобъ лампа горѣла хорошо нужно чтобъ масло всегда наполняло сосудъ B до краевъ, ибо если оно будетъ подниматься выше, то оно будетъ вытекать, если же ниже, то свѣтильня не такъ скоро будетъ вбирать въ себя масло, какъ оно истребляется горѣніемъ и лампа будетъ горѣть темно. Для того, чтобъ прибавлять масло по мѣрѣ истребленія его въ лампѣ, часть B соединена съ резервуаромъ AGC, въ который можно наливать масло. Большая широта этого сосуда служитъ уже для того, чтобъ высота масла при горѣніи не такъ скоро уменьшалась, потому что количество его больше, и

въ самомъ дѣлѣ нѣкоторыя лампы такъ и устроены, напр. большая часть столовыхъ лампъ; но по причинѣ несовершеннаго вознагражденія истребляемаго масла эти лампы послѣ непродолжительнаго времени горятъ уже темнѣе нежели въ началѣ. Въ Аргантовыхъ лампахъ масло прибавляется само собою и то по мѣрѣ надобности посредствомъ слѣдующаго устройства: сосудъ изъ жести RTPQ опрокидывается (какъ въ фигурѣ II); потомъ черезъ отверстіе въ RT совершенно наполняютъ его масломъ, поднимаютъ проволоку FG вверхъ, пока пластинка KL закроетъ отверстіе и потомъ опрокинувши его надъ сосудомъ AGC поспѣшно вкладываютъ въ него. Проволока FG толкнется о дно сосуда, пластинка KL поднимается какъ въ фигурѣ I и масло течетъ изъ сосуда, между тѣмъ какъ воздухъ въ видѣ пузырьковъ входитъ въ сосудъ PQRT, до тѣхъ поръ пока масло не войдетъ въ сосудъ AGC до MN и незакроетъ совершенно отверстія RT; потомъ масло перестаетъ выливаться, потому что внѣшнее давленіе воздуха препятствуетъ этому. Но какъ скоро, отъ сгаранія масла на свѣтильнѣ, плоскость MN понижается ниже RT, то воздухъ входитъ черезъ это отверстіе и соотвѣтственное количество масла вливается до того, что снова отверстіе закроется и т. д. Итакъ во все время горѣнія поверхность масла остается на высотѣ MN.

Теперь спрашивается: если во всѣхъ этихъ приборахъ дѣйствуетъ давленіе воздуха, то почему, когда какой нибудь сосудъ погружается въ воду, переворачивается и потомъ поднимается выше поверхности MN, какъ показываетъ ABCD (фиг. 142), вода выливается вонъ, тогда какъ давленіе воздуха поднимаетъ ее вверхъ? Отвѣтить на этотъ вопросъ не трудно, ибо воздухъ по причинѣ большей легкости въ сравненіи съ водою поднимается

вверхъ и вытѣсняетъ равный объемъ воды. Если воспрепятствовать воздуху подниматься вверхъ, напр. закрывши отверстіе стакана листомъ бумаги, и потомъ переворотить стаканъ, то вода въ самомъ дѣлѣ будетъ держаться; но какъ скоро съ одной стороны не много отдѣлимъ бумагу отъ стакана, такъ что бы воздухъ могъ входить, то тотчасъ вся вода выливается вонъ. Если же напротивъ вода находится въ узкой трубкѣ, закрытой съ однаго конца, то можно эту трубку обратить внизъ открытымъ концемъ, и вода, даже и ртуть, не будетъ выливаться. Здѣсь волосность препятствуетъ раздѣленію столба воды въ трубкѣ а слѣд. и восхожденію воздуха и слѣд. вода удерживается давленіемъ воздуха.

§ 119.

Сифонъ есть загнутая трубка ABC, какъ показываетъ фигура 143 съ одною длинною, другою короткою вѣтвью. Короткую вѣтвь BA погружаютъ въ сосудъ съ водою, а другой конецъ выходитъ изъ сосуда. Если черезъ C изъ сосуда всосать ртомъ воду, такъ что бы она наполнилась, то она будетъ выливаться изъ сосуда до тѣхъ поръ, пока поверхность воды MN не понизится до A; причину этого легко видѣть. Если представимъ себѣ что поверхность MN продолжена до D и что трубка ABC наполнена водою, то давленіе воздуха на воду въ части FBD съ обѣихъ сторонъ одинаково, именно равно атмосферному давленію, распространяющемуся до F черезъ воду, заключенную въ сосудѣ, съ другой стороны до D черезъ жидкость въ CD. Итакъ вода въ FBD не будетъ итти ни въ сосудъ ни въ другую сторону. На воду, содержащуюся въ DC въ направленіи отъ D къ C производится воздушное давленіе, распространяющееся черезъ MN и кромѣ того да-

вленіе водянаго столба DC, который измѣряется высотою KC. Но вверхъ отъ C къ D производится тоже воздушное давленіе, которому подвержено MN и еще давленіе воздушнаго столба, высота котораго равна KC. Такъ какъ вода тяжелѣе воздуха, то по этому давленіе сверху внизъ сильнѣе давленія снизу, и вода въ DC должна падать. Такъ какъ отъ этого въ D образуется пустое пространство, то вода, содержащаяся въ BD займетъ это мѣсто, за нею слѣдуетъ вода въ FB и наконецъ она выйдетъ изъ самаго сосуда, и такъ какъ одни и тѣже причины продолжаютъ свое дѣйствіе, то вода будетъ выливаться безпрестанно, пока не понизится до A. Что бы удобнѣе можно было всасывать воду, къ нижнему концу сифона обыкновенно придѣлывается восходящая трубка FD (фиг. 144); отверстіе C закрываютъ пальцемъ и вода всасывается въ D. Сифонъ служитъ для того, что бы переливать жидкость изъ одного сосуда въ другой, не трогая съ мѣста сосуда.

Если же хотятъ такимъ образомъ переливать небольшое количество жидкости, то обыкновенно употребляютъ *ливеръ* представленный въ фигурѣ 145; это есть трубка AB, съ находящимся на срединѣ сосудомъ C; конецъ погружается въ жидкость, отъ которой хотятъ взять часть, въ A всасываютъ воду въ сосудъ C, т. е. конецъ A плотно берутъ между губами и расширяютъ грудную полость, тогда воздухъ, находящійся во рту и въ ливерѣ, распространяется въ этомъ большемъ въ сравненіи съ ними пространствѣ; заключенный въ ливерѣ воздухъ разрѣжается и отъ внѣшняго атмосфернаго давленія, производимаго на MN, вода поднимается, такъ что мало по малу сосудъ C наполняется. Если потомъ скоро закроемъ пальцемъ A, то можно наполненный ливеръ вынимать, потому что содержащаяся въ немъ вода поддерживается внѣшнимъ атмосфер-

нымъ давленіемъ по причинѣ малаго діаметра нижней части трубки.

На давленіи воздуха основаны еще нѣкоторые приборы, которые иногда имѣютъ и практическую пользу. Сюда принадлежатъ: Героновъ фонтанъ, Героновъ колодезь, перемежающійся колодезь и проч. Теорію этихъ приборовъ не трудно понять изъ предъидущаго и въ каждомъ пространномъ сочиненіи можно найти описаніе ихъ.

Объ Аэростатахъ.

§ 120.

Мы видѣли, что земля, какъ оболочкою, окружена воздухомъ, простирающимся на весьма значительную высоту, и состоящимъ изъ концентрическихъ слоевъ, которыхъ плотность безпрестанно уменьшается. Если какое нибудь тѣло находится въ воздухѣ, то оно подлежитъ отъ дѣйствія тяжести воздуха тѣмъ же законамъ, которые мы нашли для капельныхъ жидкостей, т. е. оно теряетъ столько въ своемъ вѣсѣ, сколько вѣситъ воздухъ вытѣсненный имъ изъ своего мѣста. Такъ какъ воздухъ на поверхности земли въ 770 разъ легче воды и большая часть тѣлъ тяжелѣе воды или по вѣсу близко подходитъ къ ней, то потеря вѣса въ воздухѣ составляетъ весьма не значительное количество и потому можетъ быть пренебрегаема при опытахъ, не требующихъ большой точности; мы уже выше показали (§ 92), какъ нужно сію потерю принимать въ разсужденіе при опредѣленіи удѣльнаго вѣса тѣлъ. Но если бы мы имѣли какую нибудь полую весьма легкую оболочку большаго объема и вытянули изъ нее воздухъ, то могло бы случиться, что большой объемъ воздуха вытѣсняемый

изъ своего мѣста вѣсилъ бы больше, нежели вся оболочка и тогда тѣло должно бы было подниматься вверхъ, какъ дерево въ водѣ. Но такъ какъ при вытягиваніи воздуха изъ какого нибудь полаго тѣла, котораго стѣнки очень тонки, внѣшнее давленіе воздуха сожметъ его, то достигаютъ другимъ образомъ и еще гораздо легче желаемой цѣли, дѣлая шаръ изъ легкой непроницаемой воздухомъ матеріи и наполняя его другимъ газомъ, который при одинаковой упругости легче воздуха. Водородъ, какъ мы видѣли, легче воздуха почти въ 14 разъ; итакъ можетъ случиться, что шаръ и заключенный въ немъ водородный газъ будутъ вѣсить меньше, нежели вытѣсненный воздухъ; тогда шаръ будетъ подниматься вверхъ. Можно даже дать ему такой размѣръ, что онъ будетъ поднимать, кромѣ собственнаго вѣса, значительную тяжесть. Такой шаръ называется *Аэростатомъ*.

Легче всего можно доказать это въ частномъ примѣрѣ посредствомъ вычисленія. Положимъ, что мы имѣемъ такую легкую матерію, не проницаемую воздухомъ (на примѣръ каучуковымъ лакомъ покрытую тафту), и что 1 квадратный футъ ея вѣситъ 1 золотникъ; изъ этой матеріи требуется сдѣлать шарообразный Аэростатъ, который бы могъ поддерживаться на воздухѣ. Предположимъ, что искомый радіусъ шара, выраженный въ футахъ, есть x, тогда объемъ шара будетъ $\frac{4}{3}x^3\pi$, а поверхность $4x^2\pi$, гдѣ π выражаетъ отношеніе радіуса къ полуокружности, которое какъ извѣстно $=3,14$. Если бы шаръ былъ наполненъ водою и если предположимъ для краткости, что вѣсъ кубическаго фута воды равенъ 70 фунт., то вѣсъ всей воды, содержащейся въ шарѣ, былъ бы равенъ $\frac{4}{3}.x^3.\pi.70$ фунтовъ; если бы вмѣсто воды въ шарѣ находился атмосферный воздухъ, то вѣсъ былъ бы равенъ: $\frac{4/_3.x^3.\pi.70}{770}$ или почти $=0,4x^3$, наконецъ если бы онъ наполненъ былъ водородомъ, который въ неочищенномъ видѣ можно принимать легче атмосфернаго воздуха въ 10 разъ, то эту величину должно раздѣлить на 10 и мы получимъ вѣсъ водорода въ шарѣ равный $0,04x^3$ фунт.; вѣсъ оболочки будетъ $4x^2\pi=12,56x^2$ золотниковъ, или почти $0,13x^2$ фунтовъ; этотъ вѣсъ вмѣстѣ съ водородомъ долженъ быть равенъ вѣсу вытѣсненнаго воздуха, т. е. $0,4x^3$ и такимъ образомъ мы получимъ уравненіе:

$$0,4x^3=0,04x^3+0,13x^2$$

или

$$0,36x=0,13$$

и такъ

$$x=\frac{0,13}{0,36}=0,36.\text{ фут.}$$

Слѣд. шаръ имѣющій въ діаметрѣ 0,72 футовъ или 8²/₃ дюймовъ будетъ только что держаться на воздухѣ, а при большемъ діаметрѣ онъ будетъ уже подниматься.

§ 121.

Первый Аэростатъ спущенъ былъ въ Парижѣ братьями Монгольфіерами (Montgolfier) въ 1783; онъ наполненъ былъ не водороднымъ газомъ, но нагрѣтымъ воздухомъ; для этого внизу шара сдѣлано было отверстіе, подъ которымъ висѣла на шнуркахъ легкая коробочка, содержавшая горючій матеріалъ; воздухъ содержащійся въ шарѣ нагрѣвался имъ, расширялся такъ, что часть его выходила вонъ и по этому оставшаяся часть была легче внѣшняго воздуха. Но такимъ образомъ плотность воздуха уменьшается не больше какъ на $^1/_3$ первоначальной плотности, между тѣмъ какъ плотность самаго нечистаго водорода составля-

етъ $1/8$ плотности воздуха; изъ этого видно, что шаръ по устройству Монгольфіеровъ, наполненный нагрѣтымъ воздухомъ и названный по имени изобрѣтателей *Монгольфіеромъ*, долженъ имѣть для одинаковой силы восхожденія гораздо большій объемъ, нежели шаръ, наполненный водородомъ и названный по имени изобрѣтателя *Шарліеромъ*.

Первый Аэронавтъ отважившійся подняться на воздухъ на Монгольфіерѣ, сидя въ привязанной къ нему коробкѣ, былъ Пилатръ Дерозіе. Въ этомъ году онъ поднялся только на 100 футовъ, но въ 1784 году уже такъ высоко, что его почти потеряли изъ виду. Одно изъ воздушныхъ путешествій самыхъ высокихъ и принесшихъ дѣйствительную пользу наукѣ, было знаменитое путешествіе славнаго Французскаго Естествоиспытателя Гейлюсака. Въ 1805 году онъ поднялся до высоты 22000 футовъ, какъ это онъ видѣлъ изъ высоты взятаго съ собою барометра.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

О ДВИЖЕНІИ УПРУГИХЪ ЖИДКОСТЕЙ.

§ 122.

Когда воздухъ приходитъ въ движеніе, то называютъ его вѣтромъ. Причины такого движенія могутъ быть различны, но по большей части оно зависитъ отъ разности температуры въ двухъ мѣстахъ. Въ самомъ дѣлѣ, мы уже видѣли, что воздухъ отъ нагрѣванія расширяется, и слѣд. дѣлается легче. Итакъ пусть ABDE и BCEF (фиг. 146) представляютъ двѣ массы воздуха, находящіяся одна подлѣ

другой и пусть первая будетъ теплѣе и слѣд. легче; тогда давленіе на AB будетъ меньше, нежели давленіе на BC со стороны BCEF; итакъ на нижній предѣлъ ихъ BM давленіе со стороны C будетъ сильнѣе давленія на B со стороны A; слѣд. воздухъ будетъ стремиться въ направленіи CA, между тѣмъ какъ вверху онъ течетъ отъ D къ F для того, что бы замѣнить вышедшій внизу воздухъ. Самымъ простымъ образомъ можно доказать это, если открыть дверь теплой комнаты зимою; внизу холодный воздухъ будетъ входить въ комнату, между тѣмъ, какъ вверху теплый воздухъ комнаты будетъ выходить; по этому рука вверху не будетъ чувствовать холоду, но только внизу и по этому же свѣча, поставленная въ верхней части двери наклоняется наружу, напротивъ въ нижней она склоняется въ комнату. Въ статьѣ о теплотѣ мы увидимъ, что атмосфера въ различныхъ мѣстахъ имѣетъ весьма различныя температуры, отъ этого на поверхности земли воздухъ находится всегда въ движеніи. Подробнѣйшее изложеніе о вѣтрахъ мы отложимъ до того, когда, говоря о теплотѣ, мы будемъ разсматривать обстоятельнѣе распредѣленіе теплоты на земной поверхности.

Скорость вѣтра простѣйшимъ образомъ находятъ, заставляя какое нибудь легкое тѣло, напр. пухъ, двигаться вмѣстѣ съ вѣтромъ и опредѣляя, сколько футовъ оно пройдетъ въ опредѣленное время. Если скорость вѣтра равна 12—15 футамъ въ секунду, то вѣтеръ называется *умѣреннымъ*, если 32 фут. въ секунду, то *сильнымъ*, когда же скорость равна 120 фут. въ секунду, то вѣтеръ называется *ураганомъ*.

Чѣмъ больше скорость движенія воздуха, тѣмъ онъ сильнѣе дѣйствуетъ, когда онъ встрѣчаетъ на пути какое нибудь твердое тѣло; по этому ударъ вѣтра часто упо-

требляется для движенія машинъ. Напр. въ вѣтреныхъ мельницахъ воздухъ производитъ давленіе на поверхности ABKD (фиг. 147. I) крыльевъ, укрѣпленныхъ косвенно на оси, около которой они могутъ обращаться. Конецъ оси C обращается прямо противъ вѣтра, который по этому ударяетъ на крылья косвенно. Пусть напр. FG (фиг. 147. II) представляетъ разрѣзъ верхняго крыла, которое можетъ подвигаться въ направленіи MH; по этому силу, производимую вѣтромъ, PM можно разложить на двѣ, изъ которыхъ QM дѣйствуетъ перпендикулярно къ крылу, другая NM вдоль по поверхности его; послѣдняя не имѣетъ никакого вліянія и остается только QM дѣйствующая перпендикулярно. Но такъ какъ по положенію оси крыло можетъ обращаться только по направленію MH, то MQ нужно разложить опять на двѣ силы Q′M и Q″M, изъ которыхъ Q″M по причинѣ неподвижности оси уничтожается, но Q′M приведетъ крыло въ движеніе по требуемому направленію MH. Подобнымъ образомъ обращаются и остальныя крылья; отъ этого вся система приходитъ въ движеніе около оси C и заставляетъ обращаться другія колеса посредствомъ зубцевъ, находящихся на валѣ оси и дѣйствующихъ на зубцы другихъ колесъ.

Движеніе кораблей, производимое вѣтромъ, если онъ дуетъ не съ тылу, а со стороны, опредѣляется тоже чрезъ разложеніе направленія его, ибо движеніе возможно только по направленію киля, между тѣмъ, какъ перпендикулярно къ нему, оно уничтожается сопротивленіемъ воды противъ плоской стороны киля.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

О СОПРОТИВЛЕНІИ ДВИЖЕНІЯ.

§ 123.

Всякому движенію, происходящему на земной поверхности, противодѣйствуютъ особенно двѣ причины, о которыхъ мы уже часто говорили, именно *треніе* и *сопротивленіе средины*, въ которой происходитъ движеніе.

Въ треніи можно удостовѣриться слѣдующимъ образомъ: пусть DB (фиг. 148) будетъ мѣдная плоскость, которая на концѣ D можетъ подниматься и опускаться посредствомъ винта KE, такъ что уголъ DBA или α можно по произволу увеличивать отъ 0^0 и измѣрять раздѣленною на градусы дугою AL. Если положимъ на эту поверхность какое нибудь тѣло M гладкимъ основаніемъ и если уголъ $\alpha = 0$, то оно очевидно остается въ покоѣ. Если же поднимемъ D, то тѣло по теоріи тотчасъ начнетъ скользить внизъ, потому что на него дѣйствуетъ паралельно плоскости DB сила MP, получаемая изъ разложенія силы тяжести и относящаяся (какъ показано въ § 67) къ сей послѣдней какъ AD : DB или какъ $h:l$, гдѣ l и h означаютъ длину и высоту плоскости. Но при опытѣ это не имѣетъ мѣста и можно уголъ α значительно увеличить, прежде нежели тѣло начнетъ скользить. Причина этому есть треніе, которое можно объяснить себѣ тѣмъ, что при соприкосновеніи поверхности тѣла M и наклонной плоскости, какъ бы они ни были хорошо шлифованы и полированы, никогда всѣ точки ихъ не находятся въ одной плоскости, но однѣ выдаются больше, а другія углублены; итакъ не можетъ не случиться, чтобъ возвышенности одной поверхности не

вошли въ углубленія другой, какъ показано въ фиг. 149 въ большомъ размѣрѣ; слѣд. эти возвышенія должны быть вынуты изъ углубленій а для этого потребна извѣстная сила, которая и называется *треніемъ*. Треніе можно въ нашемъ опытѣ вычислить даже въ вѣсѣ; въ самомъ дѣлѣ оно будетъ равно вѣсу тѣла M, который мы означимъ черезъ P, помноженному на $\frac{h}{l}$, т. е. $= P \cdot \frac{h}{l}$. Такимъ же образомъ можно опредѣлить треніе и для другихъ случаевъ, гдѣ напр. вѣсъ тѣла или соприкасающіяся поверхности дѣлаются вдвое и втрое больше. Такимъ и подобнымъ образомъ опредѣлили слѣдующіе законы тренія:

1. Треніе бываетъ тѣмъ меньше, чѣмъ лучше полированы трущіяся поверхности.

2 Треніе находится въ прямомъ содержаніи съ вѣсомъ трущагося тѣла.

3. Треніе бываетъ одинаково для малыхъ и большихъ трущихся поверхностей, если только массы тѣлъ остаются одинаковыя.

4. Вообще треніе бываетъ меньше для трущихся разнородныхъ тѣлъ, нежели однородныхъ, при одинаковыхъ впрочемъ обстоятельствахъ.

5. Треніе весьма уменьшается, когда между трущимися тѣлами находится какая нибудь жидкость, лучше всего какое нибудь жирное вещество, напр. масло, сало.

Законы тренія имѣютъ большое примѣненіе въ движеніи колесъ на осяхъ. Если AB есть колесо, которое обращается на оси C (фиг. 150) и на окружность его дѣйствуетъ сила P, то при обращеніи его происходитъ треніе на окружности оси C, гдѣ она лежитъ на подставкѣ.

Если ось колеса сдѣлать вдвое больше, то трущаяся

поверхность увеличивается, но по третьему закону треніе отъ этого не увеличивается; между тѣмъ есть другое обстоятельсво. отъ котораго увеличивается если не самое треніе то по крайней мѣрѣ вліяніе его. Въ самомъ дѣлѣ можно себѣ представить, что вмѣсто тренія дѣйствуетъ на окружность вала повѣшенная тяжесть p такая большая, что она противодѣйствуетъ движенію равно какъ треніе. Еслибы ось сдѣлалась вдвое толще, то хотя бы тяжесть, дѣйствующая подобно тренію, оставалась тоже p, однако она тогда будетъ дѣйствовать на радіусъ вала вдвое большій, слѣд. съ моментомъ вдвое большимъ и слѣд. противодѣйствіе, оказываемое ею силѣ P, произведетъ вдвое большее вліяніе. По этому выгоднѣе дѣлать ось такъ тонкою, чтобъ она могла только сопротивляться давленію, оказываемому на нее. По предъидущему выгодно также какъ можно лучше полировать ось, дѣлать ось и подставки изъ разнородныхъ тѣлъ (напр. изъ стали и мѣди, изъ стали и камня и проч.) и потомъ смазывать ихъ масломъ или жиромъ. Для этого-то мажутъ колеса въ телѣгахъ.

Если нужна большая скорость, и слѣд. какъ возможно большее уменьшеніе тренія, какъ мы видѣли это при Атвудовой машинѣ для паденія тѣлъ, то съ выгодою употребляютъ *колеса тренія*. Въ нихъ концы оси C (фиг. 151) главнаго колеса лежатъ, каждый на двухъ колесахъ, изъ которыхъ на фигурѣ представлены только два A и B, для одного конца оси C. Когда вертится C, то A и B тоже вертятся, потому что они сдвигаются отъ тренія въ точкахъ прикосновенія D и E, по этому здѣсь нѣтъ никакого скользящаго тренія, но только то весьма не значительное сопротивленіе, которое претерпѣваетъ колесо, когда оно катится. Въ точкахъ A и B на оси въ самомъ дѣлѣ проис-

ходитъ треніе, но его вліяніе на C уменьшается въ содержаніи радіуса колеса тренія къ радіусу оси этого колеса. Это отношеніе можетъ быть легко приведено къ отношенію какъ 20 : 1, въ этомъ случаѣ треніе будетъ въ 20 разъ меньше, нежели безъ колесъ тренія.

Также и жидкія тѣла, двигающіяся между твердыми стѣнками сосудовъ, производятъ сильное треніе. По этой причинѣ вода и газы текутъ черезъ длинныя проводныя трубки гораздо медленнѣе, нежели какъ можно было ожидать, принимая въ разсужденіе то давленіе, отъ котораго они приходятъ въ движеніе. Даже нашли, что если проводная труба чрезвычайно длинна въ сравненіи съ давленіемъ, то треніе воды о стѣнки такъ велико, что вода совершенно не вытекаетъ. По этому при снабженіи водою и газоосвѣщеніи весьма нужно обращать вниманіе на треніе.

§ 124.

Мы уже упоминали о сопротивленіи, оказываемомъ жидкими или газообразными срединами тѣлу движущемуся. Съ какою силою теченіе рѣки давитъ на плоскость противопоставляемую ей, съ такою же и спокойная вода сопротивляется плоскости, движущейся въ ней съ такою же самою скоростію; слѣд. сопротивленіе будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше будетъ поверхность. Кромѣ того обыкновенно принимаютъ, что сопротивленіе увеличивается, какъ квадраты скорости движущихся тѣлъ. И такъ если хотятъ, чтобъ тѣло встрѣчало при движеніи въ водѣ, какъ можно меньшее сопротивленіе, то ему даютъ сколько возможно острую форму; если же оно должно оказывать большее сопротивленіе, то поверхности его въ этомъ направленіи по возможности увеличиваются. По этому корабли имѣютъ

длинные острые носы, а по бокамъ киля весьма плоскую форму; ибо для того, чтобъ корабль хорошо плавалъ, нужно, чтобъ онъ не только встрѣчалъ какъ можно меньшее сопротивленіе въ направленіи движенія, но также онъ долженъ представлять какъ можно большее сопротивленіе въ направленіи перпендикулярномъ къ движенію, для того, чтобы со стороны дующій вѣтеръ не гналъ его въ сторону.

Поелику сопротивленіе жидкостей увеличивается какъ квадраты скоростей, то падающее тѣло, имѣющее большую поверхность, пріобрѣтаетъ малую скорость, которая наконецъ перестаетъ быть ускорительною, именно когда ускореніе, производимое тяжестію, дѣлается совершенно равно сопротивленію производимому этимъ движеніемъ. На этомъ основывается *парашютъ*, посредствомъ котораго воздухоплаватели могутъ невредимо спускаться на землю съ большой высоты. Онъ распускается подобно зонтику, а воздухоплаватель держится за палку его. Во время паденія большая поверхность парашюта претерпѣваетъ столь сильное сопротивленіе воздуха, что движеніе скоро становится однообразнымъ и не очень быстрымъ.

ПЯТОЕ ОТДѢЛЕНІЕ.

О ЗВУКѢ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О ПРОИЗВЕДЕНИИ И О РАСПРОСТРАНЕНИИ ЗВУКА.

§ 125.

Большая часть движеній, которыя мы до сихъ поръ разсматривали, совершаются по одному направленію; только въ маятникѣ мы видѣли движеніе въ ту и другую сторону. Подобное движеніе имѣетъ мѣсто также въ жидкостяхъ капельныхъ и упругихъ и называется *волнообразнымъ*. Если напр. въ трубкѣ ABC (фиг. 152), открытой съ обоихъ концевъ и наполненной водою, мы на одной сторонѣ поднимемъ жидкость M, напр. посредствомъ всасыванія, и потомъ оставимъ ее самой себѣ, то она тотчасъ опустится, напротивъ въ N будетъ подниматься, пока M дойдетъ до самаго нижняго положенія, а N до самаго верхняго; послѣ этого движеніе происходитъ въ обратномъ порядкѣ и т. д. Движеніе при этомъ бываетъ однообразное, какъ въ маятникѣ, и можно сказать съ увѣренностію,

что оно не прекратилось бы, если бы отъ тренія и сопротивленія воздуха высоты колебаній мало по малу не уменьшались до тѣхъ поръ, пока наконецъ жидкость по законамъ равновѣсія не придетъ въ спокойное состояніе. Тоже самое происходило бы, если бы вода находилась не въ двухъ трубкахъ, но въ одномъ сосудѣ ABC (фиг. 153) и если бы одна половина ея MBD поднята была выше другой половины какою нибудь причиною, которая вдругъ перестаетъ на нее дѣйствовать. Вода начнетъ колебаться туда и сюда совершенно по тѣмъ же законамъ, по какимъ и въ трубкѣ.—Если на горизонтальную поверхность воды ABC (фиг. 154) мы бросимъ камень, напр. въ средину H, то послѣ того, какъ прекратится дѣйствіе причины понизившей воду, жидкость въ этомъ мѣстѣ начнетъ подниматься отъ давленія близлежащихъ окружающихъ ее частицъ и по причинѣ пріобрѣтенной скорости достигнетъ выше первоначальнаго уровня; въ тоже время близлежащія частицы воды будутъ понижаться, итакъ центральная возвышенная точка будетъ окружена кольцеобразнымъ углубленіемъ; когда частицы лежащія въ углубленіи опять поднимутся, то отъ этого произойдетъ пониженіе въ слѣдующемъ кольцѣ и такимъ образомъ возвышенія и углубленія распространяются въ видѣ колецъ далѣе и дѣлаются все слабѣе и слабѣе и наконецъ изчезаютъ. Подобное движеніе имѣютъ, только въ гораздо большемъ размѣрѣ, волны океана; когда намъ кажется, что такая волна подходитъ къ берегу, то это есть только видимое явленіе; къ намъ подходятъ не однѣ и тѣже частицы, но только возвышеніе волны приближается къ намъ, между тѣмъ какъ однѣ и тѣже частицы воды, то поднимаются, то опускаются и при этомъ только немного подвигаются впередъ и назадъ. Это можно видѣть, когда какое нибудь тѣло плаваетъ на поверхности во-

ды; оно остается всегда на одномъ мѣстѣ и только не много движется впередъ отъ дѣйствія вѣтра.

§ 126.

Подобное движеніе взадъ и впередъ можно сообщить и упругимъ жидкостямъ, именно воздуху; когда эти движенія довольно быстро слѣдуютъ одно за другимъ и доходятъ до нашего уха, то мы ощущаемъ это движеніе какъ *звукъ*. Представимъ себѣ твердое тѣло движущееся туда и сюда, напр. струну, и пустъ ab (фиг. 155) будетъ частица такой струны, которая слѣд. попеременно переходитъ изъ положенія ab въ положеніе $a'b'$ и опять назадъ. Когда она отъ ab идетъ къ $a'b'$, то она оттѣсняетъ воздухъ впередъ, сгущаетъ его и это сгущеніе распространяется далѣе до нѣкотораго предѣла, предположимъ до mn; теперь $a'b'$ возвращается опять назадъ къ ab и оставляетъ за собою пустое пространство, воздухъ стремится занять его, слѣд. расширяется или разрѣжается и это разрѣженіе въ то время, когда $a'b'$ движется къ ab, опять распространится до mn, такъ что мы между ab и mn будемъ имѣть разрѣженный воздухъ. Но между тѣмъ сгущеніе распространилось на равномъ разстояніи до $m'n'$, такъ что пространство между ab и $m'n'$, состоитъ изъ сгущеннаго и разрѣженнаго воздуха; это пространство называется *волною*, которая состоитъ изъ *сгущенной* половины и *разрѣженной*. Когда ab повторяетъ свои колебанія въ одно и тоже время, и въ опредѣленныхъ границахъ, то отъ этого происходитъ вторая такаяже волна, между тѣмъ какъ первая распространилась впередъ; такимъ образомъ слѣдуютъ другъ за другомъ 3, 4, 5 и проч. волны и мы получимъ *систему* волнъ слѣдующихъ одна за другою. Если напр. АВ (фиг. 156) будетъ направленіе распространяющейся волны и мы степень сгущенія въ какой нибудь точкѣ означимъ длиною линіи поставленной перпендикулярно къ ея направленію, разрѣженіе же такими же линіями стоящими съ другой стороны, то линія соединяющая концы всѣхъ этихъ перпендикуляровъ будетъ представлять змѣеобразный видъ, показанный въ фигурѣ. Пространство АС есть длина волны, Аp означаетъ сгущенную, pС разрѣженную волну; mm' есть мѣсто наибольшаго сгущенія, nn' мѣсто наибольшаго разрѣженія, между тѣмъ какъ А, p, С . . . . суть такія точки, гдѣ воздухъ ни сгущенъ, ни разрѣженъ. Если представимъ себѣ, что змѣеобразная линія съ равномѣрною скоростію подвигается вдоль линіи АВ, то мы получимъ изображеніе распространяющихся волнъ и легко можно видѣть, какимъ образомъ наибольшія сжатія мало по малу переходятъ чрезъ всѣ точки. Длина волны зависитъ отъ двухъ обстоятельствъ, во первыхъ отъ времени, въ продолженіи котораго колеблющееся тѣло совершаетъ свои колебанія, и во вторыхъ отъ скорости распространенія этихъ колебаній чрезъ воздухъ. Если колебанія тѣла въ продолженіи какого нибудь времени слѣдуютъ однообразно одно за другимъ, то и волны будутъ совершаться въ томъ же порядкѣ и если при томъ совершается въ одну секунду болѣе 16 колебаній и менѣе 16000, то мы слышимъ *музыкальный тонъ*; если же волны слѣдуютъ одна за другою неправильно, то мы слышимъ *звукъ*. Мы будемъ въ послѣдствіи преимущественно разсматривать *тоны*, потому что различные роды звука для насъ меньше имѣютъ интереса.

§ 127.

Что звучащее тѣло дѣйствительно находится въ дрожа-

тельномъ движеніи, въ томъ можно убѣдиться иногда глазами, напр. въ струнѣ слегка натянутой, или замѣтить осязаніемъ когда положить на нее палецъ, причемъ, какъ извѣстно, звукъ прекращается. Что дѣйствительно *воздухъ* передаетъ уху движеніе струны и чрезъ это дѣлаетъ его для насъ замѣтнымъ, доказывается тѣмъ, что если поставить подъ колоколъ пневматической машины будильникъ (и притомъ на какую нибудь мягкую подставку, потому что иначе звукъ можетъ распространяться чрезъ металлическую тарелку), то звукъ будильника становится слабѣе и слабѣе по мѣрѣ того, какъ мы вытягиваемъ воздухъ и наконецъ едва бываетъ слышенъ.

Теперь раждается вопросъ, съ какою скоростью звукъ распространяется въ воздухѣ. Этотъ вопросъ рѣшенъ посредствомъ слѣдующаго опыта: когда палятъ изъ пушки, то въ одно мгновеніе происходитъ и свѣтъ и звукъ; если же будемъ находиться въ нѣкоторомъ разстояніи отъ пушки, то свѣтъ увидимъ прежде, нежели услышимъ звукъ; это можетъ происходить только отъ того, что звукъ распространяется медленнѣе свѣта. Итакъ если стать на точно измѣренномъ разстояніи отъ пушки (и чѣмъ дальше тѣмъ лучше, только такъ, чтобъ можно было видѣть вспышку), то можемъ посредствомъ секундныхъ часовъ съ точностію опредѣлить время, проходящее между появленіемъ свѣта и звукомъ выстрѣла; такъ какъ кромѣ того извѣстно, что свѣтъ движется съ такою чрезвычайною скоростію, что время распространенія его можно принять за 0 для самыхъ большихъ разстояній на поверхности земли, то это время прямо даетъ продолженіе распространенія звука на этомъ разстояніи и слѣд. если это разстояніе раздѣлимъ на число протекшихъ секундъ, то мы получимъ пространство, которое проходитъ звукъ въ одну секунду или скорость его. Она равна 1100 футамъ,

впрочемъ измѣняется немного съ температурою воздуха такъ что звукъ въ тепломъ воздухѣ распространяется нѣсколько скорѣе, нежели въ холодномъ. Зная эту скорость, можно на оборотъ изъ времени протекшаго между свѣтомъ и звукомъ найти разстояніе пушки, умножая число секундъ на 1100. Такимъ же образомъ можно удостовѣриться въ разстояніи грозы, ибо и здѣсь молнія и громъ происходятъ въ одно мгновеніе, но молнія предшествуетъ грому тѣмъ больше, чѣмъ больше разстояніе грозы.

Каждый звукъ и каждый тонъ, сильный или слабый, высокій или низкій распространяется съ одинаковою скоростію, это уже слѣдуетъ изъ того, что какая нибудь мелодія, состоящая изъ весьма различныхъ тоновъ, высокихъ и низкихъ, сильныхъ и слабыхъ на всякомъ разстояніи, откуда бы мы ни слушали, слышна совершенно правильною, что очевидно не имѣло бы мѣста, если бы нѣкоторые тоны распространялись скорѣе другихъ. Звукъ можетъ распространяться тоже и въ другихъ срединахъ кромѣ воздуха, какъ въ жидкихъ такъ и въ твердыхъ, но тогда скорость распространенія больше нежели въ воздухѣ; на пр. въ водѣ она въ 4 раза больше, въ желѣзѣ въ $10\frac{1}{2}$, въ деревѣ въ 11 до 17, въ стеклѣ въ 17. Что въ водѣ распространяется звукъ видно изъ того, что можно пріучать рыбъ собираться къ берегу по звонку. Распространеніе звука въ твердыхъ тѣлахъ можно доказать, прикладывая ухо къ одному концу длиннаго шеста, а къ другому концу карманные часы; бой часовъ будетъ слышенъ, хотя чрезъ воздухъ мы его не замѣчаемъ. Напряженіе звука уменьшается въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстоянія, такъ что при двойномъ отдаленіи онъ становится въ 4 раза слабѣе, при тройномъ въ 9 разъ.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О МУЗЫКАЛЬНЫХЪ ТОНАХЪ.

§ 128.

Мы видѣли, что мы начинаемъ слышать первый тонъ тогда, когда число колебаній звучащаго тѣла есть 16 въ одну секунду; но въ музыкѣ этотъ тонъ еще не употребляется; самый низкій тонъ C дѣлаетъ 32 колебанія въ секунду. Легко будетъ вычислить длину волны для этаго тона; въ самомъ дѣлѣ, если 32 колебанія совершаются въ одну секунду, то время одного колебанія будетъ $\frac{1}{32}$ секунды; но тогда происходящая отъ этого волна распространяется на $\frac{1100}{32}$ футовъ или $34\frac{1}{2}$ фута; по прежнему нашему объясненію это есть длина волны въ воздухѣ, соотвѣтствующая самому низкому тону C. Самый высокій тонъ употребляемый въ музыкѣ или тотъ, который дѣлаетъ самое большее число колебаній въ секунду, совершаетъ 16000; слѣд. длина его волны есть $\frac{1100}{16000}$ футовъ или 0,8 дюймовъ. Между этими двумя длинами заключаются всѣ прочіе, употребляемые въ музыкѣ, тоны, которые тѣмъ выше, чѣмъ больше дѣлаютъ они колебаній въ одну секунду или чѣмъ менѣе длина волнъ. Напряженіе же звука зависитъ не отъ числа колебаній, но отъ величины сгущенія или разрѣженія воздуха въ волнѣ. Въ изображенныхъ системахъ волнъ (фиг. 156) I и II имѣютъ одинъ и тотъ же тонъ, но различныя напряженія, I и III имѣютъ различные тоны одного и тогоже напряженія, II и III различные тоны и различныя напряженія; I относится къ высшимъ и слабѣйшимъ тонамъ, II къ высшимъ и сильнѣйшимъ, III къ низшимъ и слабѣйшимъ тонамъ.

Для изученія отношенія различныхъ тоновъ употребляютъ инструментъ, называемый *монохордомъ*, который состоитъ изъ ящика тонкаго дерева, на которомъ съ одной стороны натягивается струна между двумя укрѣпленными точками (фиг. 157). Полое дерево усиливаетъ тонъ посредствомъ такъ называемаго *резонанса*, о которомъ мы будемъ говорить послѣ. Струна AB крѣпко утверждается при A, при C лежитъ на кобылкѣ и при B прикрѣпляется къ концу равноплечаго ломанаго рычага, обращающагося около K, на другомъ концѣ котораго можно привѣшивать различныя тяжести, и тѣмъ натягивать струну различнымъ образомъ; потомъ посредствомъ винта D она прикрѣпляется въ C. Устроивши все такимъ образомъ поднимаютъ по срединѣ струну, какъ показываетъ AMC; тогда струна дѣлается длиннѣе, слѣд. частицы ея отдаляются другъ отъ друга; если вдругъ пустимъ ее, то она отъ упругости опять принимаетъ свою первую длину и первоначальный видъ AB, но отъ пріобрѣтенной скорости она идетъ дальше внизъ, такъ что достигаетъ до положенія AM'C; потомъ опять движется назадъ и приходитъ на другую сторону и такъ далѣе. Колебанія мало по малу становятся меньше и меньше, пока наконецъ струна придетъ въ покой въ своемъ первоначальномъ положеніи. Эти колебанія всѣ совершаются въ одинаковое время и слѣдуютъ одно за другимъ послѣ равныхъ промежутковъ; по этому они произведутъ въ воздухѣ правильную систему волнъ, которыя, когда дойдутъ до нашего уха, производятъ ощущеніе тона. Въ механикѣ для колебанія струнъ найдены слѣдующіе законы:

1. Число колебаній, совершаемыхъ струною въ опредѣленное время,—по нашему предположенію въ одну секунду,—при одинаковыхъ впрочемъ обстоятельствахъ пропорціонально корню квадратному силы натягивающей струну.

2. Число колебаній обратно пропорціонально длинѣ струны при равномъ натягиваніи.

3. Оно обратно пропорціонально корню квадратному массы струны при одной и тойже длинѣ ея и при одинаковой натягивающей силѣ.

Въ слѣдствіе втораго закона мы можемъ чрезъ удлиненія струны, оставляя ее одинаково натянутою, измѣнить число колебаній въ опредѣленномъ отношеніи; для этого мы передвигаемъ на монохордѣ подвижную кобылку *m* взадъ и впередъ и считаемъ на доскѣ, имѣющей дѣленія, на сколько она передвинута. Если возмемъ длинную струну, натянемъ ее не много, то колебанія будутъ очень медленны, такъ что мы можемъ видѣть ихъ глазами и слѣд. считать. Предположимъ, что нашли, что струна дѣлаетъ 4 колебанія въ секунду. Мы передвигаемъ кобылку на половину и находимъ, что струна совершаетъ 8 колебаній въ секунду, но мы не услышимъ еще никакого тона. Опять посредствомъ кобылки отдѣляемъ четвертую часть струны; она будетъ совершать 16 колебаній въ секунду, мы слышимъ первые признаки тона; но если еще и эту длину раздѣлимъ на двое,—слѣд. будемъ имѣть $\frac{1}{8}$ первоначальной длины,—то мы услышимъ первый легко различаемый тонъ и мы знаемъ, что тогда струна дѣлаетъ 32 колебанія въ секунду; это есть первый самый низшій тонъ C на фортепіано. Такимъ образомъ нашли, что длина волнъ принадлежащихъ самому низкому музыкальному тону, равна $34^1/_2$ фута, какъ мы уже видѣли прежде.

§ 129.

Если опять возмемъ монохордъ, натянемъ струну, станемъ сравнивать данный ею тонъ съ тонами фортепіано, и узнаемъ что этотъ тонъ есть C, то поставивши теперь кобылку *m* по срединѣ струны и извлекши тонъ изъ одной половины, мы найдемъ что этотъ тонъ выше перваго и именно составляетъ *октаву* его; мы означаемъ его чрезъ *c*. Изъ этого слѣдуетъ, что два тона составляютъ октаву, если число колебаній высшаго вдвое больше числа колебаній низшаго. Если поставимъ кобылку на $^2/_3$ струны и извлечемъ тонъ изъ части длиннѣйшей, то найдемъ, что этотъ тонъ соотвѣтствуетъ тому, который означается въ музыкѣ чрезъ G и называется квинтою тона C. Если отдѣлимъ $^3/_4$ струны, то получимъ тонъ, соотвѣтствующій такъ называемой квартѣ первоначальнаго тона, который въ музыкѣ означается черезъ F; $^4/_5$ струны даютъ тонъ E. Такимъ образомъ можно найти длины струны, которыя соотвѣтствуютъ различнымъ тонамъ на фортепіано. Такъ какъ число колебаній струны обратно пропорціонально длинѣ струны, то нашли, что когда C совершаетъ 1 колебаніе, G совершаетъ $^3/_2$, E $^5/_4$ и т. д., такъ что тоны C, D, E, F, G, A, H, *c*, которые на фортепіано составляютъ бѣлые клавиши одной октавы отъ C, совершаютъ число колебаній

$$1,\ \frac{9}{8},\ \frac{5}{4},\ \frac{4}{3},\ \frac{3}{2},\ \frac{5}{3},\ \frac{15}{8},\ 2.$$

Между этими тонами употребляются еще 5 другихъ, потому что ухо различаетъ ихъ очень ясно, они соотвѣтствуютъ чернымъ клавишамъ въ фортепіано.

Колебанія струны производятъ въ воздухѣ волны, которыхъ длины, какъ мы уже видѣли, пропорціональны временамъ колебанія или обратно пропорціональны числу колеба-

ній въ одну секунду. Итакъ мы имѣемъ для длины волнъ слѣдующія отношенія:

C	D	E	F	G	A	H	c
1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$

Ели двѣ струны издаютъ вмѣстѣ тоны C и *c*, то въ воздухѣ между нашимъ ухомъ и струнами находятся двѣ системы волнъ, въ которыхъ двѣ волны тона *c* равны одной волнѣ тона C. При этомъ простомъ отношеніи двухъ системъ волнъ ухо ощущаетъ совершенное созвучіе, которое, какъ извѣстно, имѣетъ мѣсто между основнымъ тономъ и октавою. Ближайшее лучшее созвучіе имѣетъ мѣсто между основнымъ тономъ и квинтою т. е. между C и G, потому что въ 2 волнахъ тона C находятся ровно 3 волны G. Несовершенное созвучіе имѣетъ мѣсто въ двухъ тонахъ слѣдующихъ непосредственно одинъ за другимъ напр. C и D, потому что тогда нужно взять пространство $=8C$ дабы въ это пространство вошли ровно 9D. Если бы мы соединили 4 тона вмѣстѣ, то самое лучшее созвучіе произведутъ C, E, G, *c*; потому что въ 4 волнахъ C находятся 8 волнъ *c*, 6 волнъ G и 5 E, такъ что C, во время 4 колебаній находится въ созвучіи 4 раза съ *c*; 2 раза съ G и 1 разъ съ E. Знающему музыку извѣстно, что эти 4 тона вмѣстѣ составляютъ самое совершенное созвучіе или *аккордъ*. Итакъ мы видимъ, что пріятное ощущеніе, производимое въ насъ аккордомъ, должно искать въ ощущеніи простыхъ отношеній между тонами, напротивъ непріятное ощущеніе, такъ называемой *диссонансъ*, въ безпокойствѣ, которое ощущается нашимъ ухомъ тогда, когда оно такъ рѣдко чувствуетъ совпаденіе двухъ тоновъ.

§ 130.

Можно привести струну въ движеніе другимъ образомъ. Напр. возмемъ монохордъ, прикоснемся до средины струны въ C (фиг. 158. I) и приведемъ одну половину посредствомъ смычка въ сотрясеніе, тогда половины CB и CA каждая порознь начнутъ колебаться въ противоположныя стороны AMC и CNB, между тѣмъ какъ C остается въ покоѣ. По этому C называется *узломъ*. Но тогда издаваемый тонъ будетъ не тотъ, который происходитъ отъ струны AB, когда она колеблется по всей длинѣ, но будетъ октавою его, потому что длина струны теперь вдвое меньше. Если посредствомъ приложенія пальца на E (II) отдѣлимъ $1/3$ и приведемъ въ сотрясеніе треть EB, то AB начинаетъ колебаться не по всей длинѣ, но раздѣляется на три части, изъ которыхъ каждая по длинѣ равна EB и каждая треть колеблется одинаковымъ образомъ; тогда тонъ будетъ квинтою отъ октавы того, который издается струною AB, когда она колеблется по всей длинѣ. Такое раздѣленіе струны на узлы можно доказать, если положить въ различныхъ мѣстахъ на AB клочки бумажекъ, имѣющихъ видъ, показанный въ M (III) и потомъ провести смычкомъ по EB; всѣ бумажки упадутъ вмѣстѣ отъ колебанія струны, исключая той, которая лежитъ въ D, потому что эта точка остается въ покоѣ. Подобнымъ образомъ можно привести струну въ движеніе, раздѣляя ее на 4, 5 и проч. частей, всегда издаваемый тонъ будетъ соотвѣтствовать той части, которая колеблется какъ одно цѣлое.

Какъ струны могутъ раздѣляться посредствомъ узловъ на отдѣльныя части, изъ которыхъ каждая колеблется отдѣльно, подобнымъ образомъ и пластинки, употребляемыя

для произведенія тоновъ, раздѣляются на отдѣльныя плоскости, ограниченныя узловыми линіями. Это раздѣленіе можно сдѣлать видимымъ для глаза посредствомъ интереснаго и поучительнаго опыта; держа стеклянную пластинку горизонтально насыпаютъ на нее сухаго песку и проводятъ въ одномъ мѣстѣ на краю ея смычекъ; когда пластинка издаетъ тонъ, то песчинки соскакиваютъ съ колеблющихся частицъ и собираются въ узловыхъ линіяхъ, которыхъ направленіе такимъ образомъ дѣлается видимымъ для глаза. Правильныя фигуры, образующіяся отъ этого, извѣстны подъ именемъ *Хладніевыхъ фигуръ*, по имени открывшаго оныя извѣстнаго по этой части физика Хладни. Если одну и туже пластинку держать за различныя точки и проводить по ней смычекъ въ различныхъ мѣстахъ, то она образуетъ различныя фигуры, но каждое отличіе фигуры соотвѣтствуетъ также различному тону. Если напр. возьмемъ стеклянную квадратную пластинку AB (фиг. 159) укрѣпимъ по срединѣ въ C между тисками DFG, крѣпко привинченными къ столу и проведемъ по ней въ C смычкомъ, то песокъ образуетъ на ней видъ звѣзды ABKDL (фиг. 160. I) и показываетъ, что узловыя линіи находятся въ направленіи DB и KL, между тѣмъ какъ части M, O, N, P, колеблются. Если укрѣпимъ пластинку въ A (II) и проведемъ смычкомъ въ C, то образуются узловыя линіи DAKLM. Если круглую пластинку (III) укрѣпить на срединѣ A и провести смычкомъ въ C, то образуется шесть узловыхъ линій. Во всѣхъ этихъ фигурахъ точка, за которую держится пластинка, находится на узловой линіи, напротивъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ проводится смычекъ, имѣютъ мѣсто самыя сильныя сотрясенія.

§ 131.

Средства, служащія къ возбужденію звучныхъ сотрясеній въ воздухѣ, весьма многоразличны; на этомъ основывается различіе музыкальныхъ инструментовъ. *Инструменты со струнами* издаютъ тоны посредствомъ колебанія натянутыхъ струнъ. Въ нихъ или каждая струна издаетъ особенный тонъ зависящій то отъ длины, то отъ натягиванія, то отъ того бываютъ ли или струны Римскіе или изъ стали или изъ мѣди,—такъ устроены фортепіано, арфа и проч., — или въ нихъ находится немного струнъ, которыя отъ приложенія пальца могутъ быть сдѣланы короче, или длиннѣе,—сюда принадлежатъ скрыпка, гитара, контрабасъ и проч. Во всѣхъ этихъ инструментахъ тонъ значительно усиливается *декою*, т. е. тонкою доскою, которая находится въ близости струнъ и которая при сотрясеніи струнъ колеблется въ нѣкоторыхъ частяхъ подобнымъ образомъ. Лучшія деки состоятъ изъ деревянной доски, въ которой находятся правильныя параллельныя жилки, какъ напр. въ соснѣ. Отъ нарочно даннаго неправильнаго вида декѣ, нѣкоторыя изъ этихъ жилокъ длиннѣе, другія короче; по этому въ ней для каждаго тона будетъ находиться жилка, которой колебанія будутъ имѣть такую же скорость и которая, когда ей сообщатся черезъ воздухъ колебанія струны, дѣйствительно начинаетъ колебаться и черезъ это усиливаетъ тонъ.

Духовые инструменты производятъ тоны черезъ сотрясенія воздушнаго столба, находящагося въ трубахъ разнаго вида. Эти колебанія производятся въ нихъ тоже двоякимъ образомъ; или такъ что воздухъ дуетъ мимо отверстія, черезъ которое воздухъ приводимый въ колебанія сообщается со внѣшнимъ,—это имѣетъ мѣсто напр. въ флейтѣ; или такъ, что воздухъ вгоняется во внутренность инструмента черезъ узкое отверстіе, лежащее между пластинкою и между тоненькимъ листомъ, который называет-

ся язычкомъ; язычекъ приходитъ въ дрожательное движеніе, которое и сообщается воздушному столбу;—такимъ образомъ устроены кларнетъ, гобой, органъ и проч. Какимъ бы образомъ ни производились колебанія, всегда тонъ, происходящій отъ этого въ инструментѣ, зависитъ отъ длины воздушнаго столба, напр. въ органныхъ трубкахъ. Воздушный столбъ сотрясается или такъ, что въ немъ происходитъ только одна волна, занимающая весь столбъ или нѣсколько волнъ отдѣляются одна отъ другой узловыми плоскостями; тонъ всегда соотвѣтствуетъ длинѣ отдѣльныхъ волнъ, на которыя раздѣляются сотрясенныя частицы воздуха. Если напр. трубка въ органѣ AB (фиг. 161. I) открыта съ обоихъ концевъ, то въ звучной волнѣ или образуется по срединѣ C одна узловая линія или двѣ въ D и D′; слѣд. въ послѣднемъ случаѣ тонъ будетъ вдвое выше, т. е. будетъ октавою перваго. Отъ силы, съ которою мы дуемъ, зависитъ происхожденіе той или другой волны. Если труба закрыта съ одного конца, а на другомъ производится тонъ, то основный тонъ имѣетъ на днѣ B трубки узловую плоскость, и волна какъ будто изгибается назадъ. Итакъ если открытая трубка имѣетъ 34 $1/2$ фута длины, то волна, занимающая всю длину трубки произведетъ самый низкій тонъ C; напротивъ закрытая съ одного конца трубка должна имѣть въ длину только $17_4/1$ футовъ для того, чтобы произвесть тотъ же тонъ. Для того, чтобы сдѣлать воздушный столбъ длиннѣе или короче, служатъ въ многихъ инструментахъ, — напр. въ флейтѣ, кларнетѣ, — отверстія которыя то открываются, то закрываются пальцами.

Къ инструментамъ, которые издаютъ тонъ отъ сотрясенія плоскостей, относятся или такіе, въ которыхъ сотрясаются стеклянныя плоскости — напр. гармоника, — или такіе, гдѣ тонъ происходитъ отъ сотрясеній стальныхъ

пружинъ, — какъ напр. въ курантахъ, — или такіе, въ которыхъ колеблются перепонки, напр. барабанъ, бубны, литавра и пр.

Во всѣхъ инструментахъ троякаго рода высота тона зависитъ отъ размѣровъ, которые даютъ звучащему тѣлу такъ что можно одинъ тонъ опредѣленной высоты произвести посредствомъ римскихъ струнъ или посредствомъ струны стальной или мѣдной; можно одинаковый тонъ получить флейтою, сдѣланною изъ стекла, изъ дерева, изъ металла; наконецъ бываютъ гармоники изъ стекла, изъ дерева и проч. и во всѣхъ производится одинъ и тотъ же рядъ тоновъ, но при всемъ томъ можно легко различать произведенъ ли одинъ и тотъ же тонъ римскими струнами или стальными, стеклянною флейтою или деревянною и т. д.; каждый изъ этихъ инструментовъ имѣетъ особенный *звонъ* (timbre) для однихъ и тѣхъ же тоновъ. Этотъ звонъ зависитъ не отъ размѣра, но отъ вещества инструмента, и мы должны допустить, что твердыя стѣнки напр. флейты колеблются вмѣстѣ съ воздухомъ, и что эти колебанія суть причины звона.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

ОБЪ ОТРАЖЕНІИ ЗВУКА.

§ 132.

Если звучная волна распространяется отъ одной точки, то линія проведенная отъ этой точки къ волнѣ, которая слѣд. въ сферической волнѣ перпендикулярна къ поверх-

пости, называется *лучемъ волны*. Это есть направленіе, въ которомъ распространяются колебанія точки, издающей тонъ. Если волна упадаетъ на твердую плоскость, то она отражается и притомъ такъ, что отраженный лучь и падающій на поверхность составляютъ одинаковые углы съ поверхностію, или съ линіею, перпендикулярною къ ней. Если A есть тѣло, издающее тонъ и AB звучный лучь, падающій въ B на плоскость MN, то уголъ PBA называется угломъ паденія луча и по предъидущему онъ будетъ равенъ углу отраженія PBC; частицы воздуха колеблются въ падающемъ лучѣ въ направленіи AB и если онѣ толкнутся въ B, то онѣ отразятся, какъ упругія тѣла, и мы видѣли, (§ 80), что при этомъ отраженіи законъ равенства угловъ паденія и отраженія въ самомъ дѣлѣ имѣетъ мѣсто. Теперь если A (фиг. 163) будетъ тѣло издающее звукъ и MPN шарообразное тѣло, котораго центръ находится въ A, то AM, AP, AM будутъ представлять звучные лучи, выходящіе изъ тѣла A и слѣд. перпендикулярные къ MPN, слѣд. они отразятся по первоначальному направленію, такъ что они черезъ MA, PA, NA опять соберутся въ A; итакъ если ухо находится въ A, то оно чувствуетъ всѣ звучные лучи отраженные въ A и слѣд. слышитъ тонъ усиленный. Если же ухо находится не въ A, но въ B и если RBS представляетъ его поверхность, то оно получитъ звучные выходящіе не посредственно изъ A лучи въ конусѣ ARS и кромѣ того отраженные отъ MN, которые пересѣкаются при A въ томъ же конусѣ RAS, такъ что и здѣсь тонъ усилится. Въ этомъ состоитъ причина, почему звукъ болѣе усиливается въ покояхъ со сводами, нежели съ плоскимъ потолкомъ. Но сюда входитъ еще другое обстоятельство. Ухо RS слышитъ непосредственный тонъ, когда онъ прошелъ пространство AB, и отраженный

когда онъ прошелъ пространство 2AP + AB, которое слѣд.
болѣе прежняго количествомъ 2AP. Итакъ какъ звукъ
пройдетъ пространство 1100 футовъ въ 1 секунду, то
дошедшій до нашего уха чрезъ отраженіе услышанъ бу-
детъ позже во столько разъ, сколько 1100 содержится въ
2AP. Если напр. высота свода надъ нашею головою бу-
детъ 25 футовъ и если мы будемъ говорить въ срединѣ
него, то мы услышимъ нашъ голосъ 2 раза, одинъ разъ не-
посредственно, другой разъ черезъ отраженіе; здѣсь 2AP
$=50$ футамъ и такъ какъ $\frac{50}{1100}=\frac{1}{22}$, то мы услышимъ
отраженный звукъ позже $\frac{1}{22}$ секунды, нежели непосред-
ственный. Это время такъ мало, что мы не отдѣляемъ
обоихъ звуковъ и слѣд. второй звукъ намъ кажется
продолженіемъ перваго и мы говоримъ тогда, что *звукъ
въ сводѣ отдается*. Тоже самое происходитъ и въ боль-
шихъ залахъ, не имѣющихъ сводовъ, гдѣ звукъ не такъ
сильно собирается во одну точку, но все отражается. Ес-
ли же преграда отражающая звучные лучи находится на
большемъ разстояніи, то между первоначальнымъ звукомъ
и отраженнымъ можетъ пройти небольшой промежутокъ
времени, по этому мы слышимъ два отдѣльные звука.
Это явленіе извѣстно подъ именемъ *Эхо*. Опытъ научаетъ,
что ухо въ одну секунду можетъ слышать 9 отдѣльныхъ
звуковъ; теперь если разстояніе отражающей преграды ра-
вно 550 футамъ, то пространство, употребленное лучемъ
для прохожденія взадъ и впередъ равно 1100 футамъ. Это
пространтво проходится лучемъ въ одну секунду; и такъ
можно будетъ произнести 9 отдѣльныхъ тоновъ или 9 сло-
говъ, быстро одинъ послѣ другаго, и эхо повторитъ ихъ
всѣ по окончаніи послѣдпяго.

На отраженіи звука основывается устройство говорныхъ и слуховыхъ трубъ; говорная труба есть коническая труба ABCD (фиг. 164), узкое отверстіе которой прикладывается ко рту, между тѣмъ какъ открытая сторона CD обращена къ тому, кому говорятъ. Каждый тонъ производимый въ AB распространяется во первыхъ прямо какъ бы безъ трубы до слушающаго, кромѣ того многіе звучные лучи, которые безъ трубки распространились бы въ сторону, отразятся отъ стѣнокъ ея въ томъ же направленіи, какъ это лучше всего видно на фигурѣ, и такъ звукъ будетъ слышенъ сильнѣе. Слуховая трубка, которая употребляется глухими, есть превращенная говорная; ухо прикладывается къ узкому отверстію AB и говорятъ въ широкое отверстіе CD, гдѣ почти всѣ лучи отражаются къ AB и звукъ усиливается. Пробовали дѣлать стѣнки въ говорныхъ и слуховыхъ трубкахъ кривыми, для того, чтобы отъ нихъ лучше отражались лучи въ надлежащемъ направленіи, но черезъ это не много выграли; поэтому большею частію употребляютъ коническія трубы.

ВТОРАЯ ЧАСТЬ



О НЕВѢСОМЫХЪ.

ОТДѢЛЕНІЕ ПЕРВОЕ.

О СВѢТѢ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О ПРЯМОЛИНЕЙНОМЪ РАСПРОСТРАНЕНІИ СВѢТА.

§ 133.

Мы называемъ свѣтомъ то, что способствуетъ нашему глазу различать предметы внѣ насъ находящіеся. Что свѣтъ есть дѣйствователь находящійся внѣ насъ, а не какое нибудь вещество истекающее изъ глаза по нашему произволу, какъ думали древніе, мы узнаемъ самымъ простымъ образомъ изъ того, что въ темнотѣ, не смотря на наше усиліе, мы не можемъ ничего видѣть. Итакъ для нашего зрѣнія свѣтъ долженъ выходить изъ другихъ тѣлъ, которыя мы называемъ *свѣтящимися*; сюда относятся: солнце, звѣзды, горящія и раскаленныя тѣла, и пр. Въ противоположность этимъ тѣламъ остальныя мы называемъ *темными* и видимъ ихъ только посредствомъ падающаго на нихъ и отраженнаго въ нашъ глазъ свѣта свѣтящихся тѣлъ, какъ это видно изъ того, что они бываютъ невидимы въ отсут-

ствіи сихъ послѣднихъ. Сюда принадлежатъ: луна, планеты, и большая часть тѣлъ на землѣ находящихся. Нѣкоторыя тѣла пропускаютъ сквозь себя свѣтъ и по этому называются *прозрачными*, другія же не пропускаютъ его и называются *не прозрачными*. Впрочемъ многія обыкновенно непрозрачныя тѣла дѣлаются прозрачными, когда изъ нихъ дѣлаютъ весьма тонкія пластинки, какъ напр. листовое золото, которое, какъ мы уже видѣли, пропускаетъ зеленоватый цвѣтъ.

§ 134.

Свѣтъ распространяется отъ свѣтящагося тѣла по прямымъ линіямъ, которыя называются *лучами*; ибо если S есть свѣтящаяся точка (фиг. 165) и AB не прозрачное тѣло, MN стѣна, то между крайними лучами SAC и SBD на стѣну не упадетъ ни одного луча и на ней образуется темное пространство или *тѣнь*, имѣющая точно такую фигуру, которая ограничивалась бы линіями, проведенными къ стѣнѣ изъ точки S чрезъ всѣ точки края тѣла AB. Но если бы вмѣсто свѣтящейся точки мы имѣли свѣтящуюся поверхность, напр. кругъ, въ которомъ ST (фиг. 166) представляетъ прорѣзъ перпендикулярный къ его поверхности и который испускаетъ свѣтъ изъ каждой точки на непрозрачное тѣло, котораго разрѣзъ представляетъ AB, то тѣнь, отбрасываемая тѣломъ AB на стѣну MN отъ дѣйствія свѣтящейся точки S будетъ ограничена лучами SD и SC т. е. она будетъ CD, между тѣмъ какъ тѣнь отъ точки T будетъ ограничена лучами TF и TE т. е. будетъ представлена линіею FE. Итакъ на пространство CE свѣтъ совершенно не падаетъ; пространства CF и ED будутъ частію только освѣщены точками свѣтящейся поверх-

ности ST и тѣмъ меньше, чѣмъ ближе точки этихъ двухъ пространствъ будутъ находиться отъ E и C. Наконецъ FM и DN будутъ освѣщены всѣми точками свѣтящагося круга. Тоже самое происходитъ не только въ одномъ разрѣзѣ тѣла AB но также и во всѣхъ другихъ; такимъ образомъ видно, что тѣнь тѣла, освѣщеннаго какою нибудь поверхностію, состоитъ во первыхъ изъ совершенно не освѣщенной части CE, называемой *полною тѣнью*, и во вторыхъ изъ окружающей ее части, которая мало по малу къ окружности становится свѣтлѣе и называется *полутѣнью*.

Если свѣтящаяся поверхность ST весьма далеко удалена отъ тѣла AB въ сравненіи съ его измѣреніями, какъ напр. удалено солнце отъ земныхъ предметовъ, то углы ASB и ATB бываютъ такъ малы, что лучи SA и SB также и TA и TB или вообще *всѣ лучи, выходящіе изъ одной точки свѣтящагося тѣла можно принять за параллельные*; напротивъ лучи, выходящіе изъ двухъ крайнихъ точекъ діаметра солнца не будутъ параллельны, но составятъ уголъ въ полградуса. Теперь, если солнечный свѣтъ падаетъ на небольшое отверстіе, сдѣланное въ совершенно темной комнатѣ, напр. на треугольную дыру AB въ ставнѣ окошка (фиг. 167), то мы получаемъ отъ точки нижняго края солнца параллельные лучи TA и TB и проч. и отъ верхней точки также параллельные лучи SA и SB и проч. Первые образуютъ въ CD свѣтлое пятно, которое равно отверстію AB по виду и по величинѣ; вторые произведутъ подобное пятно FG, и такъ мы увидимъ на стѣнѣ два свѣтлые треугольника. Тоже самое происходитъ и отъ всѣхъ другихъ точекъ солнечнаго круга; такъ что мы получимъ множество такихъ малыхъ треугольниковъ и въ томъ же расположеніи, какъ расположены свѣтящіяся точки

въ солнечномъ кругѣ. По этому мы увидимъ круглое изображеніе, которое отличается отъ дѣйствительнаго вида солнца только тѣмъ, что оно составлено изъ столькихъ малыхъ треугольниковъ, изъ сколькихъ точекъ состоитъ солнечный кругъ. Легко можно видѣть, что по этой причинѣ края изображенія не такъ рѣзко отдѣляются какъ въ самомъ солнцѣ, потому что чѣмъ ближе къ краю, тѣмъ меньшее число треугольниковъ накладывается одинъ на другой. Если бы солнце не было кругло, но напр. имѣло бы, какъ бываетъ при затмѣніи его, видъ луны въ первой четверти ея, то маленькіе треугольники расположились бы такимъ же образомъ и представили бы на противопоставленной преградѣ серповидную фигуру. Это можно замѣтить, если будемъ смотрѣть на пятна, изображаемыя на землѣ солнцемъ, когда лучи его проходятъ между густыми листьями деревьевъ, осѣняющихъ аллею или бесѣдку; всѣ онѣ кажутся круглыми, не смотря на то, что видъ отверстій образуемыхъ листьями деревьевъ, весьма многоразличенъ а во время затмѣнія всѣ онѣ представляются серповидными. Изъ этого же можно объяснить, почему въ темной комнатѣ, въ которую проходитъ свѣтъ чрезъ не большое отверстіе сдѣланное въ ставнѣ, мы получимъ на противопоставленной преградѣ изображеніе предметовъ, находящихся внѣ комнаты, и притомъ въ обратномъ положеніи и не ясно обрисованныхъ. Если же отверстіе будетъ велико, какъ напр. отверстіе всего окошка, то изображеніе солнца на стѣнѣ будетъ состоять изъ множества освѣщенныхъ поверхностей, имѣющихъ величину окна, и которыхъ соотвѣтствующія точки расположены въ маломъ кругѣ, какъ и тѣ точки солнца, отъ которыхъ онѣ происходятъ; очевидно, что освѣщенная поверхность должна имѣть видъ окна, въ которомъ существованіе отдѣльныхъ изображеній,

изъ которыхъ оно составлено, доказывается образованіемъ полутѣни, какъ мы уже видѣли выше.

§ 135.

Астрономическія наблюденія научаютъ, что, хотя свѣтъ при своемъ прямолинейномъ распространеніи движется съ весьма большою скоростію, при всемъ томъ онъ не двигается мгновенно. Астрономъ Ремеръ (Römer) нашелъ, что, при затмѣніи какого либо изъ спутниковъ юпитера, выходъ его изъ тѣни этой планеты замѣчается ранѣе, когда земля на своей орбитѣ находится въ ближайшемъ разстояніи отъ юпитера, нежели тогда, когда земля находится въ наибольшемъ отдаленіи отъ него; изъ разности временъ, съ точностію замѣченныхъ въ томъ и другомъ случаѣ, онъ вычислилъ скорость свѣта и нашелъ ее равною 280000 верстамъ въ секунду. Эта скорость есть наибольшая, которую мы знаемъ, когда самая земля въ одну секунду проходитъ только 29 верстъ, пушечное ядро только 5/7 верстъ. Такая же скорость свѣта опредѣлена и изъ другаго явленія, которое извѣстно въ Астрономіи подъ именемъ *астрономической аберраціи*.

Между тѣмъ какъ лучи свѣта распространяются отъ свѣтящейся точки съ такою чрезвычайною скоростію, они расходятся болѣе и болѣе; и если они, напр. числомъ 1000, падаютъ на поверхность ABCD одного квадратнаго фута (фиг. 168), перпендикулярную къ лучамъ и находящуюся на разстояніи 1 фута отъ свѣтящейся точки, то очевидно, что на разстояніи 2 футовъ они расширятся въ поверхность A'B'C'D' имѣющую 4 квадратныхъ фута, слѣд. въ этомъ мѣстѣ на поверхность 1 квадратнаго фута упадутъ $\frac{1000}{4} = 250$ лу-

чей; также на разстояніи 3 футовъ на квадратный футъ упадаетъ лучей меньше въ 9 разъ слѣд. $\frac{1000}{9} = 111\frac{1}{9}$ и т. д.; другими словами: число лучей падающихъ на одну и туже поверхность, при различномъ отдаленіи ея отъ свѣтящейся точки, или *освѣщеніе обратно пропорціонально квадратамъ разстоянія.*

Но освѣщеніе кромѣ разстоянія зависитъ еще отъ того, какимъ образомъ лучи падаютъ на освѣщаемую поверхность. Пусть bc представляетъ плоскость весьма малую въ отношеніи къ разстоянію ея отъ S (фиг. 169), такъ что безъ значительной погрѣшности можно допустить, что лучи Sb и Sc параллельны и перпендикулярны къ bc, и пусть ba будетъ другая плоскость наклоненная къ падающимъ лучамъ и такой величины, что всѣ лучи падающіе на bc падаютъ также на ab; въ этомъ случаѣ часть поверхности ab, равная bc, во столько разъ слабѣе будетъ освѣщена чѣмъ bc, во сколько ab больше bc; или если освѣщеніе плоскости bc примемъ за единицу и освѣщеніе ba означимъ чрезъ f, то получимъ:

$$1 : f = ab : cb.$$

Но если уголъ Sab, составленный падающимъ лучемъ съ поверхностію, означимъ чрезъ α, то, какъ извѣстно, получимъ:

$$cb = ab.\sin\alpha$$

слѣд.

$$1 : f = 1 : \sin\alpha$$

или $f = \sin\alpha$. Если освѣщеніе плоскости, находящейся на разстояніи 1 фута отъ свѣтящагося тѣла, примемъ за единицу, когда плоскость перпендикулярна къ направленію луча и если другая плоскость находится на разстояніи d, такъ что бы лучи падали на нее подъ угломъ α, то все ея освѣщеніе будетъ:

$$f = \frac{\sin\alpha}{d^2}.$$

На этой формулѣ основывается рѣшеніе всѣхъ задачь, относящихся къ опредѣленію степени освѣщенія. Такимъ образомъ напр. находятъ съ помощію дифференціальнаго исчисленія, что если MN (фиг. 170) представляетъ книгу, и если въ B стоитъ свѣча BS, то свѣча должна быть поставлена на высотѣ, которая равна $\frac{7}{10}$ разстоянія CB, для того что бы средняя точка C книги была освѣщена сильнѣйшимъ образомъ.

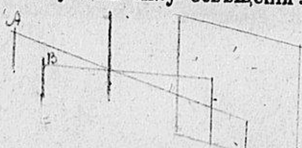
§ 136.

Для практическаго опредѣленія степени освѣщенія, происходящаго отъ различныхъ источниковъ свѣта, употребляютъ такъ называемые *фотометры.* Они основываются на томъ, что глазъ нашъ съ достаточною точностію можетъ опредѣлить, которая изъ двухъ бѣлыхъ освѣщенныхъ плоскостей, лежащихъ одна подлѣ другой, освѣщена сильнѣе. Самый употребительный и удобнѣйшій фотометръ есть фотометръ Ричи (Ritchie) имѣющій слѣдующее устройство: AB есть продольный разрѣзъ деревяннаго ящика (фиг. 171), котораго высота равна его ширинѣ и которой открытъ при A и B, такъ что онъ, собственно говоря, представляетъ четвероугольную трубку; онъ стоитъ на ножкѣ C. DE и DF суть два зеркала, вырѣзанныя изъ одного и того же большаго зеркала и поставленныя такъ, что углы DEF и DFE каждый равенъ 45°. PQ есть четвероугольное отверстіе, сдѣланное въ верхней части ящика, закрытое бѣлою масляною бумагою или матовымъ стекломъ, и PQO четвероугольная трубка, служащая для того, что бы воспрепятствовать постороннему свѣту падать на бумагу. Теперь когда хотятъ сравнить два источника свѣта M и N,

то одинъ изъ нихъ приближается къ сторонѣ A, а другой къ сторонѣ B, свѣтъ падаетъ на зеркала и отражается на поверхность масляной бумаги, такъ что одна половина ея DQ освѣщается свѣтомъ отъ N, а другая CD свѣтомъ отъ M; потомъ подвигаютъ N до тѣхъ поръ, пока освѣщеніе обѣихъ половинъ будетъ одинаково, въ чемъ можемъ удостовѣриться, смотря въ отверстіе O. Если измѣримъ разстояніе ND и MD, то мы знаемъ, что освѣщеніе обратно пропорціонально квадратамъ этихъ разстояній. Хотя извѣстно, что при отраженіи на зеркалахъ отражается только около 1/2 всѣхъ падающихъ лучей и что слѣдовательно мы сравниваемъ, собственно говоря, только половины каждаго освѣщенія, но такъ какъ зеркала одинаково ослабляютъ оба источника свѣта, то отношеніе этихъ частей освѣщенія будетъ равно отношенію цѣлыхъ освѣщеній

Другое простое, хотя менѣе точное, средство для опредѣленія силы свѣта двухъ свѣтящихся тѣлъ A и B состоитъ въ томъ, что ставятъ какую нибудь не прозрачную палочку, напр. карандашъ, такъ, что бы тѣни ея отъ A и B падали на стѣну одна подлѣ другой и что бы тѣнь отъ A освѣщалась источникомъ B, тѣнь же отъ B источникомъ A. Если теперь тѣнь отъ A будетъ темнѣе нежели отъ B, въ такомъ случаѣ должно B приближать къ стѣнѣ ближе и ближе до тѣхъ поръ, пока обѣ тѣни будутъ одинаково темны; если измѣрить разстояніе свѣтящагося тѣла B отъ тѣни производимой источникомъ A и разстояніе A отъ тѣни производимой источникомъ B, то получутъ освѣщенія источниковъ B и A, ибо они обратно пропорціональны квадратамъ измѣряемыхъ разстояній.

Такими или подобными средствами нашли, что если напряженіе свѣта обыкновенной сальной свѣчи примемъ за единицу, то получимъ силу освѣщенія:



Солнца $= 5500$

Луны $= \frac{1}{50}$

Аргантовой лампы $= 7$

Друммондова свѣта $= 1649$.

Послѣдній источникъ свѣта есть известковый шаръ или цилиндръ, раскаленный въ горящей струѣ водорода и кислорода.

Два послѣдніе источника свѣта сравнены между собою такъ, что мы представляемъ ихъ отдаленными отъ плоскости, освѣщаемой ими, на одинаковое разстояніе съ сальной свѣчею, которой освѣщеніе принято за единицу. Для опредѣленія силы свѣта солнца и луны, свѣча ставится въ разстояніи одного фута отъ освѣщаемой поверхности. Для сравненія солнечнаго свѣта нужно ослабить его значительно, но въ извѣстномъ отношеніи.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

ОБЪ ОТРАЖЕНІИ СВѢТА.

(*Катоптрика*).

§ 137.

Когда свѣтъ падаетъ на какое нибудь тѣло, то одна часть его отъ поверхности тѣла отбрасывается назадъ, другая часть или проходитъ сквозь самое тѣло, если оно прозрачно, или поглощается имъ, если оно непрозрачно. Мы будемъ говорить о каждой изъ этихъ частей; первая часть, слѣд. отраженный свѣтъ, составляетъ предметъ *Катоп-*

трики, для отличія отъ второй части, предметъ которой составляютъ законы распространенія свѣта въ прозрачныхъ срединахъ, и которая называется *Діоптрикою*.

Свѣтъ, отбрасываемый отъ поверхности тѣлъ или отражается неправильно, такъ что онъ распространяется отъ каждой точки тѣла во всѣхъ направленіяхъ, какъ напримѣръ отъ чистой поверхности снѣга, или отражается только въ опредѣленныхъ направленіяхъ и тогда отражающая поверхность называется *зеркаломъ*. Причина того и другаго отраженія заключается въ полировкѣ поверхности. Если она хорошо полирована, то она представляетъ совершенное зеркало; въ Катоптрикѣ разсмотримъ только законы отраженія на совершенныхъ зеркалахъ, ибо не правильное отраженіе легко можетъ быть сведено къ правильному, если вообразимъ себѣ, что неправильная плоскость состоитъ изъ безконечно многихъ и безконечно малыхъ полированныхъ плоскихъ поверхностей, имѣющихъ всѣ возможныя положенія. Зеркала бываютъ или *плоскія* или *кривыя*, между которыми самыя употребительныя въ практикѣ суть *сферическія*.

О плоскихъ зеркалахъ.

§ 138.

Пусть AB (фиг. 172) будетъ поверхность плоскаго зеркала, напр. металлическая полированная поверхность, на которую падаетъ лучь SC. Если изъ C возставимъ на AB перпендикуляръ CM, то уголъ SCM называется *угломъ паденія*, и законы отраженія могутъ быть выражены слѣдующимъ образомъ:

1. Лучи падающій и отраженный находятся въ одной плоскости съ перпендикуляромъ CM.

2. Отраженный лучь CS′ составляетъ съ CM уголъ называемый *угломъ отраженія*, который равенъ углу паденія. Слѣд. S′CM = SCM.

Теперь пусть PQ представляетъ плоскую зеркальную поверхность, S свѣтящуюся точку, SA и SB два какіе нибудь луча, выходящіе изъ этой точки, и падающіе на PQ: пусть AM и BN будутъ перпендикуляры къ PQ, слѣд. въ этомъ случаѣ лучи отразятся въ направленіи AC и BD, такъ что будетъ уголъ MAS=MAC и уголъ NBS = NBD. Если продолжимъ CA и DB до пересѣченія ихъ въ K и соединимъ S съ K, то въ треугольникахъ SAB и KAB получимъ сторону AB и прилежащіе углы относительно равные, какъ это легко можно видѣть; слѣд. SB = BK; но также BQ = BQ и SBQ = KBQ, слѣд.

$$\triangle BQS = \triangle BQK$$

слѣд. и углы BQS = BQK.

Посему SK перпендикулярна къ PQ. Изъ этого слѣдуетъ, *что если лучи, выходящіе изъ одной точки, падаютъ на какое нибудь плоское зеркало и отражаются отъ него, то послѣ отраженія они будутъ казаться выходящими изъ точки за зеркаломъ, которой положеніе опредѣлимъ, если изъ свѣтящейся точки опустимъ перпендикуляръ на зеркало и продолжимъ его за онымъ на такое разстояніе, на которое свѣтящаяся точка отдалена отъ зеркала.*

§ 139.

Если мы видимъ какую нибудь свѣтящуюся точку, то это бываетъ такъ, что выходящіе изъ оной въ расходящемся направленіи лучи падаютъ на нашъ глазъ; мы можемъ назначить ей то мѣсто, гдѣ она находится, смотря потому какъ расходятся лучи выходящіе изъ нея. Если вмѣ-

сто точки мы видимъ предметъ, то онъ состоитъ изъ такихъ безконечно многихъ точекъ и мы судимъ о дѣйствительномъ мѣстѣ его по способу сейчасъ упомянутому. Мы послѣ съ большею точностію опредѣлимъ, какимъ образомъ это зависитъ отъ строенія нашего глаза, а теперь для насъ довольно знать изъ опыта, что мы *нормальнымъ* глазомъ ясно видимъ тогда, когда предметъ отъ насъ отдаленъ далѣе 9 дюймовъ; если разстояніе будетъ меньше, то края видимаго нами предмета не ясно отдѣляются въ нашемъ глазѣ.

Если глазъ находится въ отраженномъ конусѣ BDAC лучей, то они падаютъ на него такъ, какъ будтобъ они выходили изъ точки K, слѣд. глазъ находится совершенно при тѣхъже обстоятельствахъ, какъ будтобъ K была свѣтящаяся точка, и такъ въ K будетъ видна такая точка. Если въ AB (фиг. 174) находится предметъ, состоящій изъ безконечно многихъ точекъ, изъ которыхъ каждая представляетъ свѣтящуюся точку, то не трудно опредѣлить гдѣ глазъ увидитъ изображеніе предмета позади зеркала; для этой цѣли мы должны употребить для каждой точки вышеприведенное построеніе. Опустимъ на зеркало перпендикуляръ AA′ изъ точки A, и также изъ точки B перпендикуляръ BB′ и продолжимъ ихъ за зеркало на разстоянія относительно равныя разстояніямъ точекъ A и B отъ зеркала; тогда A′B′ будутъ конечныя точки изображенія предмета, между тѣмъ какъ находящіяся между ними будутъ лежать въ соотвѣтственномъ порядкѣ отъ A′ къ B′. Итакъ глазъ помѣщенный въ O, такъ чтобъ въ него падали отраженные лучи, увидитъ AB въ положеніи A′B′. Изъ этого видно, что если передъ зеркаломъ PQ, (фиг. 175) наклоненномъ къ горизонту подъ угломъ 45°, лежитъ горизонтальный предметъ AB, то онъ изобразится за зеркаломъ

въ вертикальномъ положеніи A′B′ и наоборотъ, вертикальный предметъ въ такомъ зеркалѣ изобразится въ горизонтальномъ положеніи. Также легко видѣть, что зеркало должно быть вдвое меньше насъ, чтобъ мы видѣли самихъ себя въ немъ съ головы до ногъ, (фиг. 176). Въ самомъ дѣлѣ наше изображеніе A′B′ кажется такъ велико, какъ мы сами въ AB и въ такомъ разстояніи позади зеркала, въ какомъ мы находимся отъ него. Итакъ если нашъ глазъ находится въ O, то мы видимъ въ направленіи OB′ и OA′ и дабы мы получили лучи отраженные по этимъ направленіямъ, зеркало должно имѣть величину QP, слѣд. (какъ OQ = QA′) оно будетъ вдвое меньше нежели AB.

§ 140.

На отраженіи свѣта на плоскихъ зеркалахъ основывается приборъ, который извѣстенъ подъ именемъ *Калейдоскопа*. Онъ обыкновенно состоитъ изъ двухъ, наклоненныхъ одно къ другому подъ угломъ 60° зеркалъ, которыхъ разрѣзъ представляютъ линіи (фиг. 177) AB и AC. Если между зеркалами находится предметъ M, то глазъ помѣщенный надлежащимъ образомъ во первыхъ увидитъ два изображенія предмета, въ каждомъ зеркалѣ одно, которыхъ положеніе за зеркаломъ въ M′ и M′′ опредѣляется вышеупомянутымъ построеніемъ, но такъ какъ отраженные лучи кажутся выходящими изъ этихъ точекъ, то отъ M′ упадутъ лучи на AC а отъ M′′ на AB и мы опять получимъ два изображенія именно M′′′ изображеніе M′, и M^IV изображеніе M′′. Изъ этихъ точекъ послѣ втораго отраженія опять выходятъ лучи и падаютъ отъ M′′′ на AB, отъ M^IV на AC, оба опять произведутъ новыя изображенія, кото-

рыя, какъ показываетъ фигура, будутъ совпадать и дадутъ пятое изображеніе M^V. Если глазъ помѣщенъ такъ, что онъ будетъ видѣть всѣ эти изображенія въ одно время и кромѣ того непосредственно самый предметъ, то ему будетъ казаться, что онъ видитъ предметъ шесть разъ и притомъ симметрически разположенными въ видѣ звѣзды. Тоже самое происходитъ съ другими предметами, находящимися между зеркалами BA и CA, такъ что если они окрашены очень яркими цвѣтами и имѣютъ различныя формы, то отъ этого происходитъ симметрическая пестрая звѣзда, которая измѣняется, какъ скоро предметы перемѣняютъ свое положеніе. Оба зеркала вкладываются въ трубку (фиг. 178), какъ представляетъ AA′BB′ и AA′CC′; въ O находится глазъ и смотритъ въ трубку чрезъ отверстіе D, на другомъ концѣ находятся пестрые стеклянные кусочки и другіе предметы яркихъ и разныхъ цвѣтовъ положенные между двумя стеклянными пластинками MN и KA; по предъидущему, если направимъ трубу противъ свѣта, то мы увидимъ группу, составленную этими предметами, расположенную въ шести симметрическихъ секторахъ и измѣняющуюся, когда измѣняется положеніе предметовъ отъ обращенія трубки

О сферическихъ зеркалахъ.

§ 141.

Зеркала съ кривою поверхностію могутъ быть безконечно различны. Но точное шлифованіе другихъ зеркалъ кромѣ сферическихъ такъ затруднительно, что въ практикѣ употребляютъ только сферическія и поэтому мы будемъ заниматься только ими. Кромѣ того сферическія зеркала всегда составляютъ весьма малую часть всей шарообразной поверхности, что мы, при дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ, всегда будемъ предполагать.

Сферическія зеркала бываютъ двоякаго рода, или *вогнутыя или выпуклыя*; первыя представлены на фиг. 179. I; гдѣ AB есть полированная поверхность, CD задняя сторона; II представляетъ выпуклое зеркало, въ которомъ AB есть тоже полированная поверхность.

Теперь если AB (фиг. 180) есть вогнутое зеркало, C центръ кривизны его, D средина, то линія проведенная чрезъ C и D будетъ *оптическая ось* зеркала. Если на оси ея далѣе центра находится свѣтящаяся точка S и если разсмотримъ лучь ея SM падающій на зеркало въ M, то уголъ паденія составляемый лучемъ и перпендикуляромъ, поставленнымъ на кривую поверхность въ M т. е. радіусомъ CM, будетъ SMC; уголъ отраженія долженъ быть равенъ ему и находиться въ одной съ нимъ плоскости; итакъ отраженный лучь будетъ изображаться линіею MK, если $SMC = KMC$.

Въ этомъ случаѣ по правиламъ Геометріи мы получимъ:

$$SM : MK = SC : CK.$$

Если точка M лежитъ весьма близко отъ D, то можно принять, что $SM = SD$ и $KM = KD$. По этому если SD или разстояніе свѣтящейся точки отъ зеркала означимъ чрезъ d, а KD или разстояніе той точки, въ которой ось пересѣкается отраженнымъ лучемъ, черезъ f, радіусъ CD черезъ r, то легко видѣть, что вмѣсто прежней пропорціи мы будемъ имѣть:

$$d : f = d - r : r - f$$

Слѣдов. $$dr - df = fd - fr$$

или $$dr + fr = 2fd.$$

раздѣляя ту и другую часть уравненія на fdr получимъ:

$$\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=\frac{2}{r}$$

Эта простая и удобная для памяти формула научаетъ насъ находить f, когда d и r извѣстны. Такъ какъ f въ ней зависитъ только отъ d и r, и эти величины остаются постоянными для всѣхъ другихъ лучей,—напр. для SD, SN и проч.,— то всѣ лучи пересѣкутъ ось въ одинаковомъ разстояніи отъ зеркала, и слѣд. всѣ будутъ соединяться въ точкѣ K, которая называется *фокусомъ* лучей, а разстояніе его KD отъ зеркала или f: *фокуснымъ разстояніемъ*. Впрочемъ не должно забывать, что, строго говоря, это разстояніе относится только къ такимъ лучамъ, которые падаютъ на зеркало близко отъ средины D и называются *центральными* лучами: и только въ томъ случаѣ, если ширина зеркала AB будетъ величина весьма не значительная въ сравненіи съ радіусомъ CD (что впрочемъ обыкновенно и бываетъ) можно допустить, что тоже фокусное разстояніе относится ко всѣмъ лучамъ и принять за правило, что: *вогнутыя зеркала собираютъ всѣ лучи, падающіе на нихъ отъ какой нибудь точки, въ одну точку или въ фокусъ ихъ.*

§ 142.

Если свѣтящаяся точка будетъ весьма далеко находиться отъ зеркала, такъ что слѣд. всѣ падающіе на него лучи могутъ быть приняты за параллельные, то дробь $\frac{1}{d}$ будетъ безконечно мала въ сравненіи съ прочими величинами, такъ что можно ее принять за 0; тогда мы вмѣсто общей формулы, замѣнивъ f буквою F, получимъ:

$$\frac{1}{F}=\frac{2}{r}$$

или

$$F=\frac{r}{2}$$

Итакъ фокусное разстояніе для параллельныхъ лучей или, какъ обыкновенно называютъ его, *главное фокусное разстояніе* какого нибудь зеркала равно половинѣ радіуса зеркала. Поэтому наоборотъ можно радіусъ r выразить чрезъ F, что очень важно, поелику въ приготовленномъ зеркалѣ легче опредѣлить главное фокусное разстояніе, нежели радіусъ. Для этого нужно только поставить зеркало противъ солнца, которое можно считать находящимся въ безконечномъ разстояніи и смотрѣть, гдѣ отраженные лучи соберутся въ самое малое пространство; разстояніе его отъ зеркала есть главное фокусное разстояніе зеркала, какъ мы увидимъ въ слѣдующемъ параграфѣ. Зная F можно найти фокусное разстояніе f для другой свѣтящейся точки, если въ формулу предъидущаго параграфа вмѣсто $\frac{2}{r}$ подставимъ $\frac{1}{F}$; мы имѣемъ тогда:

$$\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=\frac{1}{F}$$

откуда

$$f=\frac{dF}{d-F}=\frac{F}{1-\frac{F}{d}}$$

Мы выведемъ изъ этой формулы нѣкоторыя слѣдствія:

1. Если d безконечно велико, то $\frac{F}{d}$ будетъ безконечно мало или равно нулю и $f=F$. Это очевидно само по себѣ, потому что именно въ этомъ случаѣ фокусное разстояніе f сдѣлается главнымъ фокуснымъ разстояніемъ F.

2. Если свѣтящаяся точка приближается къ зеркалу, то d становится меньше, слѣд. $\frac{F}{d}$ будетъ больше; по этому $1-\frac{F}{d}$ будетъ уменьшаться и $\frac{F}{1-\frac{F}{d}}$ увеличиваться; т. е.

фокусное разстоянiе подвигается отъ половины радiуса далѣе къ центру кривизны.

3. Если $d=2F$, то будетъ $1-\frac{F}{d}=\frac{1}{2}$, слѣд. $f=2F=d$, т. е. фокусное разстоянiе совпадетъ съ свѣтящеюся точкою; но такъ какъ $F=\frac{r}{2}$ то $d=2F=r$ т. е. *если свѣтящаяся точка находится въ центрѣ зеркала, то и фокусъ находится въ центрѣ его.* Слѣд. между тѣмъ какъ свѣтящаяся точка подвигается отъ безконечнаго разстоянiя до центра зеркала, фокусъ ея движется въ противоположномъ направленiи отъ половины радiуса до центра.

4. Если свѣтящаяся точка приближается отъ центра къ главному фокусному разстоянiю, то f будетъ увеличиваться и если наконецъ свѣтящаяся точка будетъ находиться въ главномъ фокусѣ или если $d=F$, то будетъ $f=\frac{F}{1-1}=\frac{F}{0}$ т. е. безконечно велико; поэтому отраженные лучи соберутся въ безконечно большемъ растоянiи отъ зеркала т. е. они будутъ параллельны.

5. Итакъ когда свѣтящаяся точка движется отъ центра къ главному фокусу, то фокусъ отдаляется отъ центра на безконечное разстоянiе; по этому свѣтящаяся точка и фокусъ перемѣнили свои роли, что впрочемъ изъ формулы

$$\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=\frac{1}{F}$$

видно, потому что здѣсь очевидно f зависитъ отъ d также какъ d отъ f. Если напр. $d=1$ дюйму и F имѣетъ такую величину что $f=10$, то очевидно, что наоборотъ когда $f=1$, d должно быть равно 10. Итакъ если лучи выходящiе изъ S соберутся въ K, то наоборотъ лучи выходящiе изъ K, соберутся въ S.—По сей причинѣ S и K и называются *сопряженными фокусами.*

6. Если S подвинется къ зеркалу еще ближе, нежели на разстоянiе F, то будетъ $d<F$, слѣд. $\frac{F}{d}>1$ и $1-\frac{F}{d}$ будетъ отрицательная величина; по этому все выраженiе для f будетъ отрицательное. Но такъ какъ отрицательныя величины въ геометрiи выражаются противоположными направленiями, то величину f (фиг. 181) надобно считать не отъ D къ S, но по другую сторону, такъ что фокусъ будетъ лежать въ L; и такъ отраженные лучи MK и NR будутъ казаться выходящими изъ L и будутъ послѣ отраженiя расходиться. Такой фокусъ L называется *воображаемымъ* или *отрицательнымъ.*

7. Если глазъ находится въ конусѣ отражаемыхъ лучей TKR (фиг. 180) и притомъ отъ фокуса K въ разстоянiи большемъ нежели 9 дюймовъ, то онъ увидитъ изображенiе свѣтящейся точки въ K передъ зеркаломъ, если свѣтящаяся точка находится въ S предъ зеркаломъ далѣе главнаго фокуснаго разстоянiя его; но если это разстоянiе меньше главнаго фокуснаго разстоянiя, то онъ увидитъ изображенiе точки за зеркаломъ въ L (фиг. 181)

§ 143

Если свѣтящаяся точка находится не на оси, но напр. выше въ S (фиг. 182) и если черезъ центръ зеркала проведемъ линiю SCK, то всѣ наши прежнiя заключенiя для этого случая будутъ имѣть мѣсто, если вмѣсто оси CD примемъ ось CK, слѣд. и здѣсь также центральные лучи, которые только мы здѣсь принимаемъ въ разсужденiе, соберутся въ одну точку, которой разстоянiе отъ K можетъ быть вычислено посредствомъ формулы предъидущаго параграфа. Но мы можемъ также дойти до своей цѣ-

ли посредствомъ построенія. Въ самомъ дѣлѣ точка соединенія отраженныхъ лучей, выходящихъ изъ S, будетъ находиться на линіи KC, потому что лучь SK падаетъ перпендикулярно къ зеркалу, слѣд. отразится въ томъ же направленіи. Но если проведемъ SM параллельно CD, то мы знаемъ, что этотъ лучь пересѣчетъ главную ось въ главномъ фокусѣ F и слѣд. линію KC въ точкѣ f, которая слѣд. должна быть точкою соединенія лучей выходящихъ изъ S, потому что всѣ лучи должны пересѣкаться въ одной точкѣ и два изъ нихъ уже пересѣкаются въ f.

Основываясь на этомъ можно легко отдать себѣ отчетъ въ происхожденіи изображеній, которыя мы видимъ въ вогнутыхъ зеркалахъ. Въ самомъ дѣлѣ пусть AB будетъ такое зеркало, MN предметъ (фиг. 185), изъ каждой точки котораго падаютъ лучи на зеркало. Верхній конецъ его мы означимъ поперечною чертою. Пусть C будетъ центръ, F главный фокусъ зеркала, такъ что будетъ $FD = \frac{1}{2} CD$. Если проведемъ чрезъ C линію ML, и MP параллельно главной оси CD, то получимъ, какъ мы видѣли выше, въ m фокусъ точки M; слѣд. въ m послѣ отраженія соединятся всѣ лучи выходящіе изъ M, потомъ пересѣкутся и разойдутся въ видѣ конуса, котораго вершина находится въ m. Совершенно такимъ же образомъ лучи выходящіе изъ N послѣ отраженія соберутся въ точкѣ n, которую мы получимъ, если чрезъ C проведемъ NK, NQ параллельно CD и Qn чрезъ F; лучи пересѣкшись въ n разойдутся въ видѣ конуса, котораго вершина лежитъ въ n. Итакъ если глазъ находится передъ зеркаломъ въ разстояніи отъ m и n большемъ 9 дюймовъ и въ направленіи конусовъ, выходящихъ изъ этихъ точекъ, то онъ долженъ видѣть m и n и также всѣ точки лежащія между ними и притомъ все изображеніе будетъ въ обратномъ положеніи въ отно-

шеніи къ предмету. Можно бы было въ mn поставить какую нибудь малую бѣлую плоскость или матовое стекло и тогда мы увидимъ на ней всѣ отраженныя точки предмета MN, опять какъ точки, которыя расположены также какъ въ самомъ предметѣ, только въ обратномъ порядкѣ, или на такой плоскости будетъ представлено изображеніе предмета въ обратномъ положеніи

Величину изображенія mn въ отношеніи къ предмету можно легко опредѣлить. Въ самомъ дѣлѣ изъ подобія треугольниковъ MNC и mnC получимъ:

$$mn : MN = Cg : CG.$$

Но по прежде употребленному означенію имѣемъ;

$$Cg = r - f \text{ и } CG = d - r$$

Слѣд. означая для краткости mn чрезъ m и MN чрезъ M, получимъ:

$$\frac{m}{M} = \frac{r-f}{d-r}.$$

Но (по § 147) $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$ откуда $f = \frac{rd}{2d-r}$, Слѣд.

$$\frac{m}{M} = \frac{r(d-r)}{(2d-r)(d-r)} = \frac{r}{2d-r}.$$

Отношеніе изображенія къ предмету обыкновенно называется *увеличеніемъ*; слѣд. означая его чрезъ W, получимъ:

$$W = \frac{r}{2d-r} = \frac{1}{\frac{2d}{r} - 1}$$

Изъ послѣдняго выраженія слѣдуетъ:

1. Если $d = r$ т. е. если предметъ находится въ центрѣ, то $W = 1$, т. е. изображеніе равно предмету.

2. Если $d > r$, то $W < 1$ т. е. изображеніе будетъ меньше предмета и тѣмъ меньше чѣмъ больше d; если d весьма велико, то и $\frac{2d}{r}$ будетъ весьма велико въ срав-

неніи съ 1 и W будетъ почти 0, т. е. изображеніе равно нулю въ сравненіи съ предметомъ. Итакъ когда предметъ удаляется отъ зеркала болѣе и болѣе, то изображеніе становится менѣе и менѣе и при чрезвычайно большемъ разстояніи оно дѣлается почти точкою и находится въ главномъ фокусѣ. Вотъ почему главный фокусъ вогнутаго зеркала надобно принимать тамъ, гдѣ изображеніе солнца кажется точкою (§. 142).

3. Когда $d < r$, то $\frac{2d}{r} - 1 < 1$ и слѣд. $W > 1$ т. е. изображеніе будетъ больше предмета. Въ этомъ случаѣ оно лежитъ далѣе центра зеркала, какъ мы видѣли выше и удаляется отъ него тѣмъ больше, чѣмъ больше предметъ подвигается къ главному фокусу. Когда предметъ будетъ въ главномъ фокусѣ, то изображеніе его будетъ въ безконечно большомъ разстояніи и вмѣстѣ будетъ безконечно велико, потому что въ этомъ случаѣ $d = \frac{1}{2} r$, слѣд. $W = \frac{1}{0}$. При такихъ обстоятельствахъ мы не видимъ никакого изображенія.

4. Если наконецъ $d < \frac{1}{2} r$, то W будетъ величина отрицательная, но всегда больше единицы, ибо только при $d = 0$ оно равно 1. Здѣсь отрицательный знакъ показываетъ, что изображеніе будетъ въ обратномъ положеніи, въ сравненіи съ предъидущимъ, именно оно будетъ въ прямомъ положеніи, между тѣмъ какъ прежде оно было обратное. Кромѣ того мы знаемъ, что оно будетъ позади зеркала. Это можно доказать употребивъ при построеніи прежнія правила. Пусть напр. MN (фиг. 184) будетъ предметъ, лежащій къ зеркалу ближе главнаго фокуса F. Если изъ центра C проведемъ чрезъ M линію CL, то лучь ML отразится къ M; лучь MQ, параллельный главной оси, отразится такъ, что онъ пройдетъ чрезъ F, слѣд. въ направленіи QF. Оба эти луча продолженные пересѣкутся въ точкѣ m и такъ какъ всѣ отраженные лучи соединяются въ одну точку, то m должно быть точкою соединенія всѣхъ отраженныхъ лучей или всѣ они будутъ казаться выходящими изъ этой точки. Подобнымъ образомъ и n будетъ такая точка, изъ которой будутъ казаться выходящими послѣ отраженія всѣ лучи, падающіе на зеркало отъ N; слѣд. изображеніе будетъ имѣть положеніе mn, т. е. оно будетъ прямо и увеличено, какъ это уже показывала наша формула.

§ 144.

Пусть AB будетъ выпуклое зеркало (фиг. 185), S свѣтящаяся точка, C центръ полированной поверхности, SC главная ось ея, SM падающій лучь; проведемъ CF нормально къ AB въ точкѣ M; SMF будетъ уголъ паденія, слѣд. когда SMF = PMF, то MP будетъ отраженный лучь; продолжимъ его по другую сторону зеркала до пересѣченія съ осью въ точкѣ K; если проведемъ KL параллельно MC, то получимъ:

$$SM : ML = SC : KC.$$

Но такъ какъ уголъ KLM = SMF и MKL = PMF, то и KLM = MKL и слѣд. LM = MK итакъ имѣемъ:

$$SM : MK = SC : KC.$$

Если будетъ, какъ прежде, $SD = d$, $DK = f$, $DC = r$ и если предположимъ, что M находится весьма близко отъ D, то можно допустить, что $SM = d$ и $MK = f$, какъ въ вогнутыхъ зеркалахъ и пропорція наша будетъ:

$$d : f = d + r : r - f$$

$$dr - df = fd + fr$$

откуда

$$dr - fr = 2df$$

или

и раздѣляя на drf $\quad \frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{2}{r}$

Ежели сравнимъ это уравненіе съ тѣмъ, которое мы нашли для вогнутыхъ зеркалъ: $\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=\frac{2}{r}$ и ежели его для этой цѣли напишемъ $\frac{1}{d}-\frac{1}{f}=-\frac{2}{r}$, то увидимъ, что оно будетъ тоже какъ и первое для вогнутыхъ зеркалъ, если только въ уравненіи для вогнутыхъ дадимъ количествамъ f и r знаки противные знаку количества d. Но изъ сравненія обѣихъ фигуръ мы находимъ, что въ вогнутыхъ зеркалахъ f и r находятся на той сторонѣ отъ отражающей поверхности, съ которой падаетъ свѣтъ, слѣд. измѣряются также какъ и d,—въ выпуклыхъ же они находятся на противоположной сторонѣ. Итакъ мы видимъ что знаки соотвѣтствуютъ линіямъ по положенію ихъ и что безъ дальнѣйшихъ разсужденій мы могли бы получить выведенную нами формулу изъ прежней, данной для вогнутыхъ зеркалъ, если бы, принявши въ разсужденіе положенія линій, перемѣнили только знаки. Это замѣчаніе полезно будетъ для насъ въ послѣдствіи. Изъ формулы, которую мы теперь вывели, получимъ $f=\frac{rd}{r+2d}$. Эта величина всегда будетъ имѣть одинъ и тотъ же знакъ, какъ бы велики не были взятыя количества r и d, слѣд. точка K всегда будетъ находиться позади зеркала, какъ показано въ фигурѣ, или лучи свѣтящейся точки, отраженные отъ выпуклаго зеркала, всегда будутъ расходящимися; въ этомъ случаѣ они никогда не могутъ дать изображенія передъ зеркаломъ, потому что изображеніе происходитъ только отъ пересѣченія отраженныхъ лучей. Если свѣтящаяся точка находится въ безконечно большомъ растояніи отъ зеркала, то расходящіеся лучи будутъ казаться выходящими изъ одной точки, лежащей на половинѣ радіуса зеркала, потому что въ этомъ случаѣ d безконечно велико

слѣд. $f=\frac{r}{\frac{r}{d}+2}=\frac{r}{2}$. Эту точку мы можемъ назвать воображаемымъ *главнымъ фокусомъ* выпуклаго зеркала и она будетъ для насъ полезна для объясненія изображеній въ такихъ зеркалахъ. Пусть напр. MN будетъ предметъ передъ зеркаломъ (фиг. 186); если соединимъ M съ центромъ, то лучъ ML отразится по своему направленію, но лучъ MQ, параллельный главной оси, отразится такъ, что направленіе его пройдетъ чрезъ главный фокусъ F, слѣд. m будетъ та точка, изъ которой будутъ казаться выходящими всѣ отраженные лучи; совершенно подобнымъ образомъ всѣ лучи падающіе отъ N послѣ отраженія будутъ казаться выходящими изъ n и мы получимъ изображеніе прямое, но уменьшенное mn. Итакъ выпуклыя зеркала всегда даютъ изображенія лежащія позади зеркала, прямыя и уменьшенныя.

§ 145.

Если мы имѣемъ не сферическое зеркало но другое, если напр. поверхность его будетъ поверхность пустаго цилиндра, то его можно считать за такое зеркало, которое въ направленіи продольной оси цилиндра есть плоское, а перпендикулярно къ этой оси вогнуто сферическое. Если его будемъ держать передъ собою такъ, что бы ось его была вертикальна и при томъ въ разстояніи меньшемъ полрадіуса кривизны цилиндрической поверхности, то изображеніе нашего лица въ длину не измѣнится, но въ ширину будетъ казаться увеличеннымъ; напротивъ въ такомъ же, но выпукломъ цилиндрическомъ зеркалѣ изображеніе нашего лица будетъ имѣть естественную длину, но въ ширину оно будетъ узко. Еще болѣе измѣнилось

бы изображенiе въ коническомъ зеркалѣ.—На оборотъ можно нарисовать картинки совершенно неправильныя, но которыя въ зеркалѣ коническомъ будутъ казаться правильными. Это подало поводъ къ изобрѣтенiю оптическихъ игрушекъ, называемыхъ *анаморфозами*.

§ 146.

Во всѣхъ прежнихъ изслѣдованiяхъ мы предполагали, что лучи, падающiе на зеркало суть центральные лучи, т. е. находящiеся весьма близко отъ оси зеркала. Но это предположенiе только приблизительно къ истинѣ и для насъ необходимо знать, какъ по мѣрѣ отдаленiя лучей отъ оси измѣняется самое явленiе. Точныя изслѣдованiя этого предмета показали, что лучи, падающiе на зеркало ближе къ краямъ его, пересѣкаютъ ось ближе къ зеркалу, нежели центральные. Если напр. параллельные лучи солнца SA, SC, SB и пр. (фиг. 187) падаютъ на вогнутое зеркало, то центральные лучи, идущiе ближе къ оси SC, будутъ имѣть фокусъ на половинѣ радiуса въ F, напротивъ оба луча SA и SB, падающiе на края зеркала, пересѣкаютъ ось въ F'. Разстоянiе FF' называется *сферическою аберрацiею* зеркала, которая слѣд. зависитъ отъ отношенiя AB къ радiусу, т. е. отъ *отверстiя зеркала*, и которая пропорцiональна квадрату отверстiя. Отъ этого происходитъ то, что лучи выходящiе изъ весьма отдаленой точки, находящейся передъ сферическимъ зеркаломъ, послѣ отраженiя пересѣкаются не въ одной точкѣ, но образуютъ вмѣсто того свѣтлое круглое пятно, которое можно видѣть, если принять лучи между F и F' на какую нибудь плоскость; вычисленiе показываетъ, что это круглое пятно имѣетъ наименьшую величину въ томъ разстоянiи отъ F, которое равно

$^2/_5$ аберрацiи. Итакъ вмѣсто точки въ фокусѣ мы получимъ весьма малый кругъ; но когда такимъ образомъ всѣ точки предмета въ изображенiи, происходящемъ отъ отраженiя на вогнутыхъ зеркалахъ, расширяются въ малые круги, то очевидно изображенiе должно быть неясно. Итакъ мы получимъ изображенiе тѣмъ неявственнѣе, чѣмъ больше отверстiе зеркала; вычисленiе показываетъ, что неясность увеличивается какъ кубы отверстiя. По этой причинѣ въ точныхъ инструментахъ напр. въ зеркальныхъ телескопахъ, которые мы послѣ опишемъ подробнѣе, зеркала должны имѣть какъ возможно меньшее отверстiе.

Очевидно, что этотъ недостатокъ, происходящiй отъ аберрацiи, можно устранить, если отполировать зеркало не сферическое но такое, которое бы къ краямъ A и B имѣло меньшую кривизну, для того что бы лучи, падающiе на края, сходились не очень сильно. Очевидно, что это для параллельно падающихъ лучей имѣло бы мѣсто тогда, когда бы ACB не было кругомъ, но параболою; потому что въ самомъ дѣлѣ извѣстное свойство параболы состоитъ въ томъ, что если къ ней проведемъ линiю SM, параллельную оси AC (фиг. 188) и потомъ точку пересѣченiя M соединимъ съ фокусомъ параболы F (который отъ оптическаго своего свойства получилъ это наименованiе), то будетъ уголъ SMA = FMC; итакъ если SM будетъ падающiй лучь, то MF будетъ отраженный, гдѣ бы точка M ни лежала на параболѣ. Если падающiе лучи будутъ не параллельны но будутъ расходиться изъ одной точки, то кривизна зеркала должна быть эллиптическая, въ одномъ фокусѣ которой находится свѣтящаяся точка, а въ другомъ соединяются отраженные лучи, по извѣстному свойству эллипса состоящему въ томъ, что двѣ линiи, проведенные изъ фокусовъ эллипса къ какой нибудь точкѣ его, составляютъ съ нимъ

равные углы, какъ этого требуютъ законы отраженія. Но въ практикѣ шлифованіе зеркалъ въ параболическія и эллиптическія представляетъ такія трудности, что по большой части употребляютъ только сферическія зеркала съ малымъ отверстіемъ.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

О ПРЕЛОМЛЕНІИ СВѢТА.

(*Діоптрика.*)

§ 147.

Мы видѣли, что если лучъ свѣта падаетъ на какое нибудь прозрачное тѣло съ полированною поверхностію, то одна часть его отражается отъ поверхности, а другая проходитъ въ самое тѣло. Законы дальнѣйшаго распространенія первой части мы уже разсмотрѣли; теперь мы опредѣлимъ путь, по которому идетъ вторая часть въ прозрачномъ тѣлѣ. Мы увидимъ, что только въ весьма не многихъ случаяхъ лучи сохраняютъ свое первоначальное направленіе, но что они большею частію распространяются, хотя по прямому, однако измѣненному направленію; это уклоненіе отъ первоначальнаго направленія, называется *преломленіемъ свѣта.*

Представимъ себѣ лучъ SC (фиг. 189), падающій изъ пустаго пространства на прозрачную средину съ плоскою поверхностію AB.

Пусть NN′ будетъ перпендикуляръ поставленный на AB въ точкѣ C; тогда NCS будетъ уголъ паденія луча. Опытъ

научаетъ, что преломленный лучъ CD приблизится къ перпендикуляру N′C; уголъ DCN′ называется *угломъ преломленія.* Законъ, опредѣляющій направленіе преломленнаго луча, состоитъ изъ двухъ частей, именно:

1. Падающій и преломленный лучи лежатъ въ одной плоскости съ перпендикуляромъ.

2. Для одной и тойже преломляющей средины синусъ угла паденія находится въ постоянномъ отношеніи съ синусомъ угла преломленія; и такъ если α есть уголъ паденія и ϱ уголъ преломленія, μ постоянное отношеніе, то мы имѣемъ.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\varrho} = \mu \text{ или } \sin\alpha = \mu\,.\,\sin\varrho.$$

Величина μ, называемая *показателемъ преломленія*, есть величина постоянная, какъ было уже сказано, для одной и тойже средины; она измѣняется для различныхъ срединъ, но никогда не бываетъ меньше 1, что согласно и съ прежнимъ нашимъ замѣчаніемъ, состоящимъ въ томъ, что преломленный лучъ приближается къ перпендикуляру. Посредствомъ опытовъ нашли, что для воды $\mu = {}^4/_3$, для стекла $\mu = {}^3/_2$, для алмаза $\mu = {}^5/_2$ для воздуха $\mu =$ 1,00028.

Послѣ этого пусть лучъ свѣта SC падаетъ напр. на поверхность воды AB (фиг. 190) подъ угломъ паденія равнымъ 30^0; представимъ себѣ, что около точки C, произвольнымъ радіусомъ r, описанъ кругъ PBP′A; тогда линія SF будетъ синусъ угла паденія SCP и какъ извѣстно въ нашемъ случаѣ будетъ равна ${}^1/_2\, r$. Если возмемъ ${}^3/_4$ этой величины т. е. ${}^3/_8\, r$ и положимъ эту линію ED перпендикулярно къ CP′, такъ чтобъ другой конецъ ея касался окружности круга въ D, то CD будетъ преломленный лучъ, потому что синусъ угла паденія SCP относится къ синусу

угла преломленія DCP' какъ $\frac{SF}{DE}$ т. е.

$$\frac{\frac{1}{2}\,r}{\frac{3}{8}\,r} = \frac{4}{3} = \mu.$$

Такъ какъ преломляющія средины обыкновенно ограничены, а слѣд. лучь свѣта опять выходитъ изъ нихъ, то спрашивается, какимъ образомъ измѣняется путь луча, когда онъ изъ преломляющей средины выходитъ въ пустое пространство? Опытъ научаетъ, что въ этомъ случаѣ совершенно тотъ же законъ имѣетъ мѣсто, только съ тѣмъ различіемъ, что μ измѣняется въ $\frac{1}{\mu}$; слѣд. для стекла въ этомъ случаѣ показатель преломленія будетъ не $\frac{3}{2}$, но $\frac{2}{3}$. Итакъ если лучь DC изъ преломляющей средины выходитъ въ пустое пространство чрезъ поверхность AB, то онъ внѣ средины идетъ далѣе въ направленіи CS, такъ что онъ здѣсь продолжаетъ прежній путь, только въ обратномъ направленіи. Итакъ въ этомъ случаѣ лучь свѣта при выходѣ изъ плотнѣйшей средины *отдаляется* отъ перпендикуляра.

§ 148.

Изъ формулы $\sin \alpha = \mu \sin S$, когда лучь изъ пустаго пространства входитъ въ преломляющую средину, слѣдуетъ, что $\sin S = \frac{\sin \alpha}{\mu}$; Теперь, такъ какъ μ всегда больше единицы и $\sin \alpha$ всегда меньше, то и $\frac{\sin \alpha}{\mu}$ всегда будетъ правильная дробь и по этому всегда можно найти sin S, который равенъ этой дроби, потому что синусы имѣютъ всѣ возможныя величины отъ 0 до 1. Итакъ, для каждаго угла паденія α, будетъ возможенъ уголъ S, подъ которымъ

идетъ лучь въ преломляющей срединѣ. Если уголъ паденія $\alpha = 0$, то и $\sin \rho = 0$, а слѣд. и $\rho = 0$; т. е. лучь, падающій перпендикулярно на преломляющую средину, проходитъ черезъ нее безъ всякаго преломленія какъ SCD (фиг. 191).

Если α будетъ больше, то и ρ сдѣлается больше; когда α достигнетъ наибольшей величины т. е. 90°, или если лучь S'C падаетъ почти параллельно самой поверхности преломляющей средины и если предположимъ, что эта средина есть стекло, то будетъ $\sin S = \frac{2}{3} \sin 90 = \frac{2}{3}$

т. е. $\rho = 41°50'$

Отсюда слѣдуетъ, что когда падающій лучь измѣняетъ свое положеніе отъ 0 до 90°, или отъ SC до S'C, то преломленный лучь обратится только на 41°50' или отъ DC до D'C слѣд. меньше нежели на половину оборота сдѣланнаго падающимъ лучемъ.

Если же лучь идетъ изъ стекла въ пустое пространство, то мы знаемъ, что тогда должно μ замѣнить $\frac{1}{\mu}$, слѣд. мы получимъ:

$$\sin \rho = \mu \cdot \sin \alpha.$$

И здѣсь для $\alpha = 0$ также и $\rho = 0$ (фиг. 192), т. е. лучь SC, падающій перпендикулярно, идетъ въ пустое пространство не преломляясь по направленію CD. Но такъ какъ $\mu > 1$, то будетъ $\rho > \alpha$; наконецъ α достигнетъ такой величины, при которой будетъ $\mu \sin \alpha = 1$ и это будетъ для стекла тогда, когда $\sin \alpha = \frac{1}{\mu} = \frac{2}{3}$ т. е. когда $\alpha = 41°50'$; такъ какъ тогда $\sin \rho = 1$, то $\rho = 90$, т. е. лучь S'C, составляющій при выходѣ изъ стекла уголъ паденія 41°50', идетъ параллельно поверхности стекла, какъ C'D. Если α будетъ еще больше, то будетъ $\mu \sin \alpha > 1$, слѣд. и $\sin \rho > 1$, что не возможно. Для этого случая законъ, выведенный нами прежде, невозможенъ, слѣд. лучь никогда не выдетъ изъ стекла и те-

перь спрашивается, что будетъ съ этимъ лучемъ? Опытъ научаетъ, что онъ въ этомъ случаѣ отражается отъ поверхности AB назадъ въ стекло и притомъ точно такъ, какъ при отраженіи отъ зеркала, т. е., *что уголъ паденія равенъ углу отраженія*. Слѣд. S''C пойдетъ по направленію CD''. Это отраженіе называется *полнымъ внутреннимъ отраженіемъ*, для отличія отъ другаго, которое имѣетъ мѣсто при каждомъ углѣ паденія, ибо при каждомъ выходѣ луча изъ средины въ пустое пространство точно также, какъ и при входѣ въ средину, одна часть отражается, а другая выходитъ. Полное внутреннее отраженіе отличается отъ обыкновеннаго тѣмъ, что при первомъ весь свѣтъ отражается и не выходитъ изъ средины ни малѣйшая часть его. Уголъ, при которомъ начинается полное отраженіе, называется *угломъ предѣла* полнаго отраженія; синусъ его, какъ сказано было прежде, равенъ $\frac{1}{\mu}$, слѣд. для воды онъ равенъ $48^0 35'$; для стекла $= 41^0 50'$, для алмаза $= 23^0 35'$. Слѣд. лучь свѣта можетъ выйти изъ алмаза только тогда, когда онъ на заднюю плоскость его падаетъ подъ угломъ, который меньше $23^0 35'$. По этой причинѣ алмазъ отражаетъ такое большое количество свѣта или, какъ мы говоримъ, имѣетъ такую *сильную игру*.

Такъ какъ въ полномъ внутреннемъ отраженіи *весь свѣтъ* отражается, между тѣмъ какъ на нашихъ зеркалахъ только отражается около половины его, то можно употребить это отраженіе съ пользою въ тѣхъ случаяхъ, когда отраженіе происходитъ подъ угломъ большимъ угла предѣла. Пусть напр. BAC представляетъ вертикальный разрѣзъ прямоугольной призмы (фиг. 193), которой стороны AB, BC и CA полированы и въ которой AB $=$ AC; и пусть лучь SE падаетъ перпендикулярно на AB; тогда онъ пойдетъ къ D

не преломляясь. Такъ какъ при D уголъ паденія равенъ 45^0, слѣд. больше $41^0 50'$, то лучь весь отразится, упадетъ при G перпендикулярно къ AC и пойдетъ опять, не преломляясь, къ F. Итакъ если мы въ этомъ направленіи отъ F къ D будемъ смотрѣть въ призму, то мы увидимъ находящіеся при S предметы какъ будто въ зеркалѣ CB, только гораздо яснѣе, потому что здѣсь никакого свѣта не теряется. Такую призму употребляютъ исключительно вмѣсто зеркала въ оптическихъ инструментахъ, напр. въ подзорныхъ трубахъ, когда хотятъ измѣнить направленіе луча на прямой уголъ.

Примѣръ внутренняго отраженія ежедневно можно видѣть, если смотрѣть въ стаканъ съ водою ABCD снизу изъ O (фиг. 194); поверхность воды MN кажется блестящею какъ серебро и если въ стаканѣ находится серебряная ложка DE, то часть ея, находящаяся въ водѣ, видна будетъ, черезъ отраженіе на поверхности MN, съ чрезвычайною ясностію.

§ 149

Если имѣемъ преломляющую средину, напр. стекло, съ *параллельными* плоскими поверхностями AB и DE и если лучь SC падаетъ на первую поверхность AB подъ угломъ α (фиг. 195), то онъ пойдетъ дальше въ направленіи CF, такъ что уголъ преломленія ϱ будетъ имѣть такую величину, при которой будетъ:

$$\sin \alpha = \mu \cdot \sin \varrho$$

Для угла паденія α' на заднюю поверхность стекла DE очевидно имѣемъ

$$\alpha' = \varrho$$

Наконецъ при выходѣ луча мы получимъ уголъ преломленія такой, что будетъ

$$\sin \alpha' = \frac{1}{\mu} \cdot \sin \varrho'$$

Если въ послѣднее уравненіе изъ втораго вмѣсто α' поставимъ равный ему уголъ ϱ и помножимъ его на первое, то получимъ

$$\sin \alpha \,.\, \sin \varrho = \sin \varrho \,.\, \sin \varrho'$$
$$\text{или } \sin \alpha = \sin \varrho'$$
$$\text{и} \quad \alpha = \varrho'$$

т. е. если лучь свѣта проходитъ черезъ стекло съ параллельными поверхностями, то онъ остается *параллельнымъ своему первоначальному направленію*; впрочемъ это новое направленіе не есть продолженіе первоначальнаго, но оно немного уклонено въ сторону и тѣмъ больше, чѣмъ толще стекло.

Въ справедливости сего закона можно убѣдиться слѣдующимъ образомъ. Подзорную трубу направляютъ на отдаленный предметъ; если передъ трубою держать такое стекло, котораго поверхности не совершенно параллельны, то предметъ, какъ показываетъ теорія, тотчасъ долженъ перемѣнить свое положеніе въ трубѣ; но если онѣ параллельны, то предметъ долженъ остаться на своемъ мѣстѣ. Послѣднее замѣчаютъ дѣйствительно, если употребляютъ такое стекло. Средство сіе такъ точно, что на оборотъ имъ можно убѣдиться въ совершенной параллельности поверхностей стекла. Но тогда подзорная труба должна быть устроена такъ, что бы въ ней видна была постоянная точка, которую можно направить на отдаленный предметъ и такимъ образомъ убѣдиться въ неизмѣняемости положенія его. Послѣ при точномъ изслѣдованіи устройства подзорной трубы мы увидимъ, какимъ образомъ достигаютъ этого посредствомъ двухъ натянутыхъ въ трубѣ перекрестныхъ тонкихъ нитей, такъ что ихъ вмѣстѣ съ предметомъ можно видѣть ясно; точка пересѣченія нитей есть требуемая неподвижная точка въ трубѣ.

§ 150.

Если двѣ различныя средины съ параллельными поверхностями касаются одна другой и если мы сдѣлаемъ вышеприведенный опытъ, то найдемъ что обѣ средины вмѣстѣ не измѣняютъ положенія предмета въ трубѣ; слѣдовательно лучь и при прохожденіи черезъ двѣ лежащія одна подлѣ другой средины остается параллельнымъ своему первоначальному направленію. Изъ этого опыта мы въ состояніи опредѣлять измѣненіе направленія луча, когда онъ изъ одной преломляющей средины переходитъ въ другую. Въ самомъ дѣлѣ, пусть AB и GK (фиг. 196) будутъ параллельныя поверхности первой средины, GK и MN другой, лежащей подлѣ ея; показатель преломленія первой μ, второй μ'. Лучь SC пойдетъ въ первой срединѣ отъ C къ D, во второй отъ D къ F а изъ F, какъ мы знаемъ, онъ пойдетъ къ S', такъ что будетъ SC параллеленъ FS'. — Пусть углы паденія на три плоскости будутъ означены черезъ α, α', α'', углы преломленія черезъ ϱ, ϱ', ϱ''; мы знаемъ что $\alpha = \varrho''$.

Изъ предъидущаго мы имѣемъ

$$\sin \alpha = \mu \,.\, \sin \varrho.$$

Такъ какъ мы не знаемъ отношенія $\sin \alpha'$ къ $\sin \varrho'$, то мы означаемъ его черезъ x; тогда будетъ

$$\sin \alpha' = x \,.\, \sin \varrho'$$

И наконецъ

$$\sin \alpha'' = \frac{1}{\mu'} \cdot \sin \varrho''$$

Но такъ какъ по параллельности AB, GK и MN знаемъ что $\varrho = \alpha'$, $\varrho' = \alpha''$, и какъ $\alpha = \varrho''$, то мы можемъ эти три уравненія написать такъ:

$$\sin \alpha = \mu \sin \varrho$$
$$\sin \varrho = x \sin \varrho'$$
$$\mu' . \sin \varrho' = \sin \alpha$$

Умножая ихъ получимъ:

$$\mu' . \sin \alpha . \sin \varrho . \sin \varrho' = \mu x . \sin \varrho . \sin \varrho' . \sin \alpha$$

откуда

$$\mu' = \mu x.$$

или

$$x = \frac{\mu'}{\mu}$$

Слѣдовательно для луча, идущаго изъ одной преломляющей средины въ другую, показатель преломленія равенъ показателю преломленія второй средины, раздѣленному на показатель первой; оба показателя относятся къ пустому пространству. Показатель преломленія средины, въ которую проходитъ лучь изъ пустаго пространства, называется *абсолютнымъ* или просто показателемъ преломленія средины, а когда въ нее лучь проходитъ изъ другой преломляющей средины, то показатель называется *относительнымъ* и по предъидущему легко найти одинъ, когда другой извѣстенъ. Если напр. посредствомъ опыта, который мы покажемъ послѣ, нашли что показатель преломленія равенъ $^3/_2$, когда лучь идетъ изъ воздуха въ стекло, то абсолютный показатель его опредѣлится, если найденное количество умножимъ на абсолютный показатель преломленія воздуха т. е. на 1,00028.

§ 151.

Если 2 плоскости, ограничивающія преломляющую средину *не параллельны*, то такую средину въ оптикѣ

вообще называютъ *призмою*. Если разсѣчемъ призму плоскостію перпендикулярною къ обѣимъ поверхностямъ ея, то получимъ плоскость называемую *главнымъ сѣченіемъ призмы*. Уголъ составляемый поверхностями ея въ этомъ сѣченіи т. е. уголъ наклоненія обѣихъ плоскостей, называется *преломляющимъ угломъ* призмы, а линія пересѣченія обѣихъ плоскостей *преломляющимъ ребромъ*. Обыкновенно представляютъ себѣ призму, со стороны противоположной преломляющему ребру ограниченною третьею плоскостію; линія, въ которой главное сѣченіе пересѣкается этою плоскостію противоположною ребру, называется *основаніемъ* призмы. И такъ пусть CAB (фиг. 197) будетъ главное сѣченіе, CA одна и CB другая преломляющая поверхность; тогда ACB будетъ преломляющій уголъ призмы, AB основаніе ея. Если лучь SD падаетъ въ плоскости главнаго сѣченія на поверхность призмы въ D, такъ что онъ съ нормальною PP′ составляетъ уголъ α и уголъ преломленія ϱ, то онъ пойдетъ въ направленіи DF. При F онъ составитъ съ нормальною QQ′ уголъ паденія α' и уголъ преломленія ϱ', такъ что лучь отклонится въ FS′ далѣе отъ нормальной. Если продолжимъ направленіе падающаго луча SD и вышедшаго изъ призмы FS′ до того, чтобъ они пересѣклись въ призмѣ въ точкѣ K, то очевидно первоначальное направленіе луча SK перемѣнилось въ KS′ и лучь отклонился отъ своего первоначальнаго направленія на уголъ MKS′, который по этому называется *угломъ отклоненія*. Изъ фигуры видно, *что призма всегда отклоняетъ лучь отъ вершины къ основанію*. Величина отклоненія бываетъ различна, смотря по величинѣ угла паденія, и она можетъ быть опредѣлена посредствомъ вычисленія, если показатель преломленія призмы и преломляющій уголъ ея будутъ извѣстны; но мы должны опустить здѣсь форму-

лы нужныя для этого. Изъ вычисленія извѣстно, что между всѣми величинами угла паденія для даннаго преломляющаго угла призмы есть одна, при которой лучь отклоняется меньше всего, или при которой уголъ S'KM достигаетъ наименьшей величины. Это бываетъ именно тогда, когда уголъ $\alpha = \varrho'$ или $\varrho = \alpha'$. Въ существованіи этого наименьшаго отклоненія можно убѣдиться посредствомъ опыта, если пропустить на такую призму лучь въ темную комнату и потомъ смотрѣть, какъ онъ отклоняется; поворотя призму около преломляющаго ребра, увидимъ что изображеніе, производимое лучемъ на стѣнѣ, прежде всего будетъ болѣе и болѣе подвигаться къ сторонѣ соотвѣтствующей наименьшему отклоненію, пока наконецъ при дальнѣйшемъ поворачиваніи призмы въ туже сторону оно начнетъ опять двигаться назадъ. Точка поворота даетъ положеніе наименьшаго отклоненія, которое слѣд. имѣетъ тотъ отличительный признакъ, что въ какую бы сторону мы ни поворачивали призму, изображеніе всегда двигается въ одну и туже сторону. Такъ какъ это положеніе легко можетъ быть опредѣлено въ практикѣ, то его употребляютъ для нахожденія показателя преломленія μ той средины, изъ которой сдѣлана призма. Въ самомъ дѣлѣ найдено, что если наименьшее отклоненіе D луча извѣстно, и если преломляющій уголъ γ призмы данъ, то μ можетъ быть опредѣленъ изъ формулы

$$\mu = \frac{\sin \frac{1}{2}(D+\gamma)}{\sin \frac{1}{2}\gamma}$$

Эту формулу обыкновенно употребляютъ для опредѣленія μ; только при этихъ опытахъ входитъ одно обстоятельство, о которомъ послѣ мы будемъ говорить и которое состоитъ въ томъ, что лучь свѣта при преломленіи въ призмѣ, разлагается вмѣстѣ на различные цвѣты.

Если нужно опредѣлить μ для жидкихъ тѣлъ, то жидкость наливаютъ въ сосудъ ограниченный двумя ровными стеклянными плоскостями, наклоненными одна къ другой, слѣд. въ пустую призму и опредѣляютъ отклоненіе, какъ и въ твердыхъ тѣлахъ. Если при каждомъ стеклѣ поверхности его совершенно параллельны, то стекла, какъ мы видѣли, не отклоняютъ луча, такъ что лучь проходя черезъ нихъ остается параллеленъ первоначальному своему направленію и отклоняется только отъ преломленія въ жидкой призмѣ; если же плоскости одного стекла не будутъ параллельны, то это стекло также составляетъ призму и мы наблюдаемъ сумму отклоненій, производимыхъ жидкостію и стеклянными пластинками. Но такъ какъ послѣднюю часть суммы можемъ опредѣлить отдѣльно, если знаемъ отклоненіе производимое пустою призмою, то мы можемъ, посредствомъ простаго вычисленія, найти также отклоненіе производимое одною жидкою призмою.

Для газообразныхъ тѣлъ служитъ также пустая призма, изъ которой можно вытянуть воздухъ или наполнить ее различными газами. Только при газахъ нужно обращать вниманіе на давленіе, подъ которымъ они находятся, потому что отъ него зависитъ плотность ихъ, а показатель преломленія пропорціоналенъ плотности.

§ 152.

На преломленіи свѣта основывается объясненіе нѣкоторыхъ явленій. На дно сосуда MPQN съ непрозрачными стѣнками, наполненнаго водою (фиг. 148), кладутъ какой нибудь предметъ, напр. маленькую монету AB. Лучь BD, выходящій изъ точки B перпендикулярно, не перемѣнитъ своего направленія при выходѣ изъ воды; напротивъ другіе лучи, падающіе на поверхность воды подъ острымъ угломъ,

отклоняются отъ нармальной, потому что они выходятъ изъ средины болѣе премляющей въ менѣе преломляющую По этому напр. лучь BG внѣ воды пойдетъ по направленію GH; предположимъ, что изъ всѣхъ лучей, выходящихъ изъ B это есть послѣдній, который можетъ пройти выше края N сосуда между тѣмъ какъ другіе упадутъ на стѣнки его и слѣд. не могутъ выйти. Слѣд. всѣ лучи лежащіе между BD и BG и выходящіе изъ B послѣ преломленія будутъ находиться между DR и GH. Если продолжимъ линію GH назадъ такъ, что бы она пересѣкала линію BD въ B', то эти лучи будутъ казаться выходящими изъ B' вмѣсто B. Такимъ же образомъ всѣ лучи отъ A, находящіеся между AC и AF (если AF есть послѣдній лучь, проходящій послѣ преломленія выше края N сосуда) послѣ преломленія будутъ лежать между CL и FK, слѣд. будутъ казаться выходящими изъ A'.

Теперь, если глазъ находится въ O, то ему кажется, что онъ видитъ предметъ AB въ A'B', слѣд. немного поднятымъ, и изъ положенія O видно, что если бы въ сосудѣ не было воды, то глазъ совершенно не видалъ бы монеты. По этому если бъ клали прежде въ пустой сосудъ монету такъ, что бы виденъ былъ одинъ только край ея A, то, когда наливаютъ воду въ сосудъ, она будетъ видима вся.

Если палку AB (фиг. 199) поставить въ воду въ наклонномъ положеніи, то часть CB будетъ казаться приподнятою какъ CB' по той же причинѣ, по которой монета кажется выше, и слѣд. палка покажется какъ будто сломанною при C; явленіе это всякому извѣстно. Такимъ же образомъ объясняется, почему купающимся въ мелкой водѣ дно, со всѣхъ сторонъ, кажется приподнятымъ вверхъ. Это видимое повышеніе будетъ тѣмъ больше, чѣмъ косвеннѣе будемъ смотрѣть на воду; при отвѣсномъ положеніи глаза прелом-

леніе $=0$, слѣд. всѣ точки дна лежащія перпендикулярно подъ глазами наблюдателя, будутъ казаться въ естественныхъ положеніяхъ.

§ 153.

Такъ какъ наша атмосфера, какъ мы уже это знаемъ (§ 114), состоитъ изъ концентрическихъ слоевъ, которыхъ плотности вверхъ уменьшаются болѣе и болѣе, и которые слѣд. чѣмъ выше тѣмъ меньше преломляютъ свѣтъ, то отъ этого лучи свѣта падающіе на нашу землю отъ небесныхъ свѣтилъ уклоняются отъ первоначальнаго своего положенія. Въ самомъ дѣлѣ пусть ABC представляетъ часть земной поверхности (фиг. 200), DE горизонтъ наблюдателя, находящагося въ B, $mn, m'n', m''n'', m'''n'''$ и проч. тонкіе концентрическіе слои, изъ которыхъ каждый ближайшій къ землѣ преломляетъ свѣтъ больше, чѣмъ предъидущіе; если Sa будетъ лучь свѣта, падающій на слой mn, то, по закону преломленія, онъ преломится такъ, что онъ приблизится къ нормальной; слѣд. онъ пойдетъ по направленію ab; при b онъ переходитъ въ слѣдующій слой и по этому опять приближается къ нормальной и идетъ по направленію bc; потомъ онъ идетъ далѣе по направленію cd и наконецъ по направленію dB онъ приходитъ въ глазъ наблюдателя; слѣд. послѣднему будетъ казаться, что онъ видитъ звѣзду S по направаенію Bd, слѣд. въ S' т. е. выше надъ горизонтомъ, нежели какъ она находится въ самомъ дѣлѣ. Но такъ какъ всѣхъ слоевъ не 4 но безконечно много, то лучь будетъ представлять не ломаную линію, показанную на фигурѣ, но кривую, которой выпуклость обращена кверху и мы видимъ звѣзду по линіи касательной къ этой кривой, проведенной чрезъ точку, въ которой находится нашъ глазъ. Впрочемъ кривизна этой линіи не такъ

велика, какъ она представлена *для ясности* въ фигурѣ, потому что показатель преломленія воздушныхъ слоевъ сверху внизъ увеличивается такъ мало, что онъ на поверхности земли, когда лучь входитъ въ воздухъ изъ пустаго пространства, вообще равенъ только 1,00028, какъ мы уже видѣли. (§ 147). Если звѣзда находится прямо надъ нами, или какъ говорятъ, въ зенитѣ, то лучь отъ нея падаетъ перпендикулярно на поверхность всѣхъ концентрическихъ слоевъ слѣд. не преломляется и отклоненіе звѣзды равно бываетъ 0. Отклоненіе бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ ближе звѣзда находится къ горизонту и достигаетъ наибольшей величины, когда звѣзда находится въ самой плоскости горизонта. Все это явленіе извѣстно подъ именемъ *атмосфернаго лучепреломленія* или *рефракціи*, и всегда должно быть тщательно принимаемо въ разсужденіе въ Астрономіи при тѣхъ наблюденіяхъ, въ которыя входитъ высота звѣздъ надъ горизонтомъ. Наибольшая рефракція въ горизонтѣ равна 30′. Таже самая рефракція, производимая только не всѣми слоями атмосферы, дѣйствуетъ и на отдаленные предметы земные, особенно близко лежащіе къ горизонту, именно отъ нее предметы кажутся приподнятыми.

Это явленіе имѣетъ мѣсто всегда, хотя въ большей или меньшей степени, но иногда къ нему присоединяются совершенно необыкновенныя явленія; напр. на горизонтѣ являются предметы, которые въ другое время не видимы по причинѣ большой отдаленности и кажутся какъ будто плавающими въ воздухѣ и отдѣленными отъ земли; часто предметы кажутся удвоенными или даже утроенными, и изъ этихъ изображеній одно бываетъ въ обратномъ положеніи. Эти явленія совершенно объясняются необыкновеннымъ раздѣленіемъ плотности или способности преломленія воздушныхъ слоевъ. Одно изъ обыкновенныхъ

явленій такого рода состоитъ въ томъ, что если напр. будемъ смотрѣть вдаль на большой поверхности воды или песку сильно освѣщенной солнцемъ, то мы увидимъ предметы, находящіеся въ дальнемъ разстояніи, напр. корабль стоящій на якорѣ, во первыхъ немного приподнятымъ и потомъ еще разъ внизу стоящимъ въ обратномъ положеніи, какъ будто бы онъ отразился отъ воды, хотя этого быть не можетъ по причинѣ не гладкой поверхности моря, волнуемаго вѣтромъ; между обоими изображеніями обыкновенно находится не ясное сѣрое пространство (фиг. 201). Эти явленія объясняются слѣдующимъ образомъ: сильное нагрѣваніе поверхности воды, причиняемое солнечною теплотою, производитъ сильное испареніе, такъ что нижніе слои воздуха смѣшиваются съ парами больше всего на самой поверхности земли, а чѣмъ выше тѣмъ меньше. Такъ какъ эти пары имѣютъ меньшую плотность нежели вода, то и плотность смѣси изъ воздуха и паровъ будетъ меньше плотности сухаго воздуха; отъ этого происходитъ, что нижайшіе слои атмосферы въ этомъ мѣстѣ не суть плотнѣйшіе. Кверху плотность мало по малу увеличивается, потому что здѣсь меньше паровъ, пока наконецъ количество ихъ сдѣлается такъ малымъ, что плотность воздуха, начиная отсюда, слѣдуетъ закону одной тяжести и слѣд. съ увеличеніемъ высоты уменьшается. Изъ сего слѣдуетъ, что наибольшая плотность воздуха, слѣд. наибольшій показатель преломленія, имѣетъ мѣсто на какой нибудь опредѣленной высотѣ надъ водою и начиная отъ этой высоты она уменьшается книзу и кверху. Теперь пусть CD представляетъ такой слой воздуха наибольшей плотности (фиг. 202), AB поверхность воды. Если въ C находится какой нибудь предметъ, въ E глазъ, то лучи свѣта, прошедши черезъ слой воздуха CD, дойдутъ до глаза по кривой линіи CFE и глазъ

увидитъ изображеніе предмета въ C′; подобнымъ образомъ другіе лучи, идущіе внизъ, доходятъ до глаза по подобной кривой линіи CGE, потому что способность преломленія въ CD книзу также уменьшается какъ и кверху. слѣд. глазъ увидитъ въ C″ другое изображеніе; но это второе изображеніе будетъ казаться въ обратномъ положеніи, потому что лучи нижнихъ точекъ предмета должны отклониться меньше для того, что бы достигнуть до глаза, нежели лучи верхнихъ точекъ, какъ научаетъ насъ точное изслѣдованіе предмета. Эти необыкновенныя явленія атмосфернаго лучепреломленія извѣстны подъ именемъ *зеркальности воздуха*, *миража*, *fata morgana* и проч. Они бываютъ видимы и на песчаныхъ поверхностяхъ, потому что здѣсь отъ сильнаго нагрѣванія почвы нижніе слои воздуха, ближайшіе къ почвѣ, расширяются и отъ этого дѣлаются менѣе преломляющими, нежели верхніе такъ что и здѣсь наибольшая способность преломленія имѣетъ мѣсто на нѣкоторой высотѣ.

Подобное явленіе въ маломъ видѣ можно замѣтить, если нагрѣть длинную желѣзную полосу и смотрѣть черезъ нее отъ одного конца къ другому на поставленные на другомъ концѣ предметы. Надъ полосою нагрѣтый воздухъ дѣйствуетъ также, какъ нагрѣтый воздухъ надъ песчаною поверхностію; видно сильное трясеніе предмета, а иногда видны два изображенія его. Такое же явленіе можно видѣть, если въ стеклянный сосудъ съ параллельными стѣнками налить двѣ жидкости, различно преломляющія, такъ что бы опи рѣзко отдѣлялись одна отъ другой и потомъ начинали мало по малу смѣшиваться, какъ мы это видѣли (§ 99); въ слоѣ смѣшенія видно подобное удвоеніе изображенія предметовъ.

О преломленіи свѣта въ сферическихъ поверхностяхъ.

§ 154.

Если свѣтъ проходитъ чрезъ прозрачную средину, ограниченную кривыми поверхностями, то легко видно, что отклоненія его будутъ весьма различны, смотря по кривизнѣ поверхностей. Въ практикѣ употребляются только шарообразныя кривизны, потому что только онѣ могутъ быть съ надлежащею точностію отшлифованы; по этому мы только одними ими займемся. Онѣ имѣютъ 6 различныхъ видовъ, которые представлены въ фиг. 203, въ разрѣзѣ называются вообще *оптическими стеклами*, (чечевицами); онѣ суть:

I. Двояко-выпуклое стекло, II плоско-выпуклое, III менискъ; всѣ онѣ принадлежатъ къ выпуклымъ стекламъ. IV двояко-вогнутое, V плоско-вогнутое и VI выпукло-вогнутое (разсѣевающій менискъ); онѣ принадлежатъ къ вогнутымъ стекламъ. Впрочемъ намъ не нужно выводить законы преломленія для каждаго изъ 6 родовъ особенно; ибо если мы прежде выведемъ законы для двояковыпуклыхъ оптическихъ стеколъ, то законы для остальныхъ 5, мы легко можемъ вывести, дѣлая тоже замѣчаніе касательно знаковъ, которое мы сообщили при разсматриваніи сферическихъ зеркалъ, какъ мы увидимъ послѣ. Теперь пусть AD будетъ такое двояко-выпуклое стекло (фиг. 204), C центръ первой поверхности ABD, на которую падаетъ свѣтъ, C′ центръ второй поверхности AB′D, изъ которой лучи выходятъ; въ такомъ случаѣ прямая линія, проведенная чрезъ C и C′, называется *осью* стекла. Если предположимъ, что на этой оси находится свѣтящаяся точка S, то задача наша будетъ состоять въ томъ, что бы опредѣ-

лить направленіе, по которому будетъ итти лучь, падающій изъ S на стекло, по выходѣ изъ онаго. Если изъ C проведемъ радіусъ CM кривизны ABD, то SME будетъ уголъ паденія луча; послѣ преломленія онъ приблизится къ перпендикуляру CH, слѣд. онъ пойдетъ далѣе по направленію MN, такъ что если бы онъ продолжалъ свой путь по этому направленію, то онъ пересѣкъ бы ось въ точкѣ G. Но при N онъ выходитъ изъ стекла и если проведемъ радіусъ C'N, то MNC' будетъ уголъ паденія на поверхность AB'D и такъ какъ лучь теперь входитъ въ средину менѣе преломляющую, то онъ отдалится отъ перпендикуляра NK и слѣд. пойдетъ по направленію NF, такъ что пересѣчетъ ось въ точкѣ F. Если возмемъ уголъ паденія SME и уголъ преломленія NMC и означимъ чрезъ μ показатель преломленія стекла относительно воздуха (§ 150), потому что мы всегда дѣлаемъ опыты въ воздухѣ, то получимъ:

$$\frac{\sin. SME}{\sin. NMC} = \mu.$$

Такъ какъ уголъ паденія на вторую плоскость есть MNC', а уголъ преломленія есть FNK, то мы также получимъ:

$$\frac{\sin. MNC'}{\sin. FNK} = \frac{1}{\mu}.$$

Если мы предположимъ, что лучь SM лежитъ весьма близко къ оси, какъ мы это уже дѣлали при разсматриваніи сферическихъ зеркалъ и какъ это по большой части бываетъ въ самомъ дѣлѣ, потому что поверхности сферическихъ стеколъ всегда составляютъ весьма малую часть всей поверхности шара, или другими словами, если предположимъ, что лучи будутъ *центральные*, то всѣ эти углы также будутъ весьма малы, слѣд. отношеніе синусовъ ихъ будетъ равно отношенію самихъ угловъ и мы получимъ:

$$SME = \mu . NMC \qquad \mu . MNC' = FNK.$$

но $SME = \alpha + \gamma$; $NMC = \gamma - \delta$; $MNC' = \beta + \delta$; $FNK = \beta + \varepsilon$;

слѣд. мы имѣемъ;

$$\alpha + \gamma = \mu\gamma - \mu\delta$$
$$\beta + \varepsilon = \mu\beta + \mu\delta.$$

Слагая соотвѣтственные члены получимъ:

$$\alpha + \gamma + \beta + \varepsilon = \mu\gamma + \mu\beta$$

или

$$\alpha + \varepsilon = (\mu - 1)(\beta + \gamma)$$

Но такъ какъ углы очень малы, то можно также вмѣсто ихъ взять тангенсы угловъ и тогда получимъ:

$$\tang \alpha + \tang \varepsilon = (\mu - 1)(\tang \beta + \tang \gamma)$$

Если теперь предположимъ, что стекло весьма тонко въ сравненіи съ радіусомъ поверхности и если означимъ разстояніе SB точки S отъ стекла или, по причинѣ тонкости его, отъ средины его, черезъ d, радіусъ CB первой поверхности черезъ r, радіусъ второй поверхности C'B' черезъ r' и разстояніе точки F отъ стекла чрезъ f, то мы получимъ:

$$\tang \alpha = \frac{ML}{d};\ \tang \varepsilon = \frac{ML}{f};\ \tang \beta = \frac{ML}{r'};\ \tang \gamma = \frac{ML}{r}$$

поставляя эти величины въ послѣднее уравненіе и раздѣляя вездѣ на ML, получимъ:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right) \qquad (A)$$

Изъ этого уравненія мы можемъ опредѣлить f, какъ скоро будутъ извѣстны d, r, r' и μ. Итакъ если мы знаемъ радіусы кривизны поверхностей, также показатель преломленія стекла и разстояніе свѣтящейся точки отъ стекла, то мы можемъ найти, въ какомъ разстояніи лучь послѣ преломленія пересѣчетъ ось. Подобнымъ образомъ для всѣхъ другихъ лучей, падающихъ изъ той же точки на стекло, мы найдемъ тоже самое разстояніе, потому что величины въ нашей формулѣ для всѣхъ лучей остаются однѣ

и тѣже. Слѣд. для *центральныхъ лучей* мы имѣемъ законъ состоящій въ томъ, что *всѣ лучи, которые, выходя изъ одной точки оси, падаютъ на двояковыпуклое стекло, пересѣкаются въ одной точкѣ, которая также лежитъ на оси.* Эта точка называется *фокусомъ.*

§ 155.

Если падающіе лучи параллельны, то это значитъ тоже, что точка S находится въ безконечно большомъ разстояніи отъ стекла или что d безконечно велико, слѣд. $\frac{1}{d}=0$ и тогда наша формула будетъ:

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right)\ \dots \qquad (B)$$

Въ этомъ случаѣ разстояніе f называется *главнымъ фокуснымъ разстояніемъ*; мы означимъ его чрезъ F; тогда по предъидущему параграфу изъ формулы (A) получимъ:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}\ \text{слѣд.}\ f=\frac{dF}{d-F}. \qquad (C)$$

Если предположимъ, что обѣ кривизны равны или что $r=r'$ и если для стекла предположимъ что $\mu=\frac{3}{2}$, то изъ формулы (B) получимъ:

$$\frac{1}{F}=(\tfrac{3}{2}-1)\,\frac{2}{r}=\frac{1}{r}$$

$$\text{слѣд. } F=r.$$

т. е. въ этомъ случаѣ главное фокусное разстояніе равно радіусу. Въ вогнутыхъ зеркалахъ главное фокусное разстояніе было равно половинѣ радіуса; слѣд. мы видимъ, что двояковыпуклыя стекла съ одинаковою кривизною также собираютъ параллельные лучи солнца въ одну точку какъ и вогнутыя зеркала, но что сила зеркалъ вдвое больше при одинаковой кривизнѣ, потому что зеркала сильнѣе заставляютъ лучи сходиться, именно на разстояніи рав-

номъ половинѣ радіуса, между тѣмъ какъ стекла могутъ произвесть тоже самое явленіе только на разстояніи равномъ цѣлому радіусу.

Въ практикѣ гораздо легче опредѣлить главное фокусное разстояніе стекла, нежели радіусы кривизны поверхностей его; нужно только узнать, гдѣ солнечные лучи пересѣкутся позади стекла въ самомъ меньшемъ пространствѣ; это малое пространство есть главный фокусъ стекла. По этому формула (C) легче можетъ быть употреблена, нежели подробнѣйшая формула (A). Изъ послѣдней:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right)$$

видно что все равно, какая бы поверхность стекла ни была обращена къ свѣтящейся точкѣ, разстояніе f и слѣд. F всегда остаются однѣ и тѣже. Въ самомъ дѣлѣ, если перевороТить стекло, то r измѣняется въ r', а r' въ r; но на правой сторонѣ уравненія количество $\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}$, черезъ это совершенно не перемѣнится.

§ 156.

Теперь разсмотримъ формулу (C) подробнѣе; изъ оной, какъ уже сказано, имѣемъ:

$$f=\frac{dF}{d-F}=\frac{F}{1-\frac{F}{d}}.$$

Изъ этого слѣдуетъ:

1. Если свѣтящаяся точка находится въ безконечно большомъ отдаленіи т. е. если падающіе лучи параллельны оси, то будетъ $\frac{F}{d}=0$ и $f=F$; въ самомъ дѣлѣ въ этомъ случаѣ f есть главное фокусное разстояніе. *

2. Если свѣтящаяся точка приближается къ стеклу, то $\frac{F}{d}$ будетъ увеличиваться слѣд. $1-\frac{F}{d}$ все будетъ меньше и меньше, по этому $\frac{F}{1-\frac{F}{d}}$ или f все будетъ больше и больше, т. е. фокусъ отдаляется отъ стекла далѣе, начиная отъ главнаго фокуса.

3. Если $d=2F$, то $f=\frac{F}{1-{}^1/_2}=2F$; итакъ если свѣтящаяся точка приблизится къ стеклу на двойное фокусное разстоянiе, то фокусъ будетъ позади стекла на такомъ же разстоянiи.

4. Если $d=F$, то $f=\frac{F}{0}$ т. е. f будетъ безконечно велико, или за стекломъ лучи будутъ параллельны; итакъ если d измѣняется отъ безконечности до 2F, то главный фокусъ подвигается только отъ F до 2F; напротивъ когда d измѣняется отъ 2F до F, то фокусъ подвигается отъ 2F до безконечности.

5. Если d меньше F, то будетъ $\frac{F}{d}>1$ слѣд. $1-\frac{F}{d}$ а слѣд. также и f будутъ величины отрицательныя т. е, это разстоянiе будетъ не на противоположной сторонѣ какъ прежде, но на одной и той же сторонѣ, на которой находится свѣтящаяся точка; лучи по этому остаются расходящимися и послѣ преломленiя.

Если эти законы сравнимъ съ тѣми, которые мы имѣли для вогнутыхъ зеркалъ, то увидимъ, что они совершенно согласны между собою, съ тѣмъ только различiемъ, что 1) главное фокусное разстоянiе будетъ другое, какъ мы уже видѣли и 2) при зеркалахъ свѣтящаяся точка и фокусы имѣютъ противоположное движенiе по одну и

туже сторону отражающей поверхности, между тѣмъ какъ въ выпуклыхъ стеклахъ обѣ эти точки, лежащiя на различныхъ сторонахъ стекла, перемѣщаются въ одномъ и томъ же направленiи.

§ 157.

Что бы получить формулу для другихъ стеколъ, а не для двояковыпуклыхъ, мы должны только сдѣлать слѣдующiя замѣчанiя:

Когда мы выводили формулу для соединенiя лучей падающихъ на двояковыпуклое стекло параллельно оси его т. е. формулу

$$\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=(u-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right)$$

то всѣ входящiя линiи d, f, r, r' были величины положительныя, слѣд. d и r остаются положительными, когда онѣ находятся на той сторонѣ, на которой падаютъ лучи, въ нашемъ случаѣ по лѣвую сторону отъ стекла, а f и r положительными тогда, когда они лежатъ по правую сторону. Но мы знаемъ изъ отраженiя свѣта (§ 144), что эти величины сдѣлаются отрицательными, когда онѣ будутъ лежать на другой сторонѣ. Кромѣ того замѣтимъ, что мы очевидно можемъ плоскую поверхность принимать за сферическую, которой радiусъ безконечно великъ.

Изъ этихъ двухъ замѣчанiй слѣдуетъ, что при паденiи свѣта съ лѣвой стороны, для *плоско-выпуклыхъ стеколъ*, какъ въ фиг. 203. II, мы должны предположить $r'=\infty$, слѣд. $\frac{1}{r'}=0$, а r остается положительнымъ и слѣд. мы получимъ формулу для главнаго фокуснаго разстоянiя

$$\frac{1}{F}=(u-1)\frac{1}{r}$$

отсюда видно, что F всегда будетъ величина положительная,

и такъ какъ d всегда остается положительнымъ,—потом что лучи падаютъ на стекло изъ одной точки всегда въ расходящемся направленiи, а слѣд. и разстоянiе d всегда остается на той сторонѣ, съ которой падаетъ свѣтъ,—то въ нашей формулѣ (C) ничего не измѣняется, кромѣ величины F и слѣд. мы имѣемъ какъ прежде

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}.$$

Если бы мы переворотили стекло такъ, что бы свѣтъ падалъ на плоскую поверхность стекла, то было бы $r=\infty$, слѣд. $\frac{1}{r}=0$ и формула для $\frac{1}{F}$ совершенно была бы равна прежней, потому что $r'=r$ въ прежней формулѣ. Слѣд. и въ стеклахъ плоско-выпуклыхъ какъ и въ двояко-выпуклыхъ все равно, какая бы сторона ни была обращена къ свѣту.

Если употребимъ плоско-выпуклое оптическое стекло, для котораго $\mu=3/2$, то получимъ:

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{2}r.$$

или

$$F=2r.$$

Слѣд. главное фокусное разстоянiе будетъ равно двойному главному фокусному разстоянiю двояко-выпуклаго стекла, имѣющаго туже кривизну съ обѣихъ сторонъ. По этому двояко-выпуклое стекло можно разсматривать, какъ стекло состоящее изъ двухъ плоско-выпуклыхъ, положенныхъ одно на другое плоскими поверхностями.

Въ менискѣ (фиг. 203. III) задняя сторона стекла вогнута, радiусъ этой поверхности лежитъ вправо а не влѣво, какъ въ случаѣ нашей формулы, по этому мы должны r' принять за отрицательную величину и слѣд. получимъ:

$$\frac{1}{F}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r'}\right).$$

Такъ какъ въ менискѣ выпуклая поверхность имѣетъ большую кривизну, нежели вогнутая, то будетъ $r<r'$ слѣд. $\frac{1}{r}>\frac{1}{r'}$, по этому $\frac{1}{F}$, или F будетъ величина положительная и наша формула (C) остается, какъ и прежде:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}.$$

только F имѣетъ здѣсь другую величину. Если бы мы переворотили это стекло такъ, что бы вогнутая сторона была обращена противъ падающаго свѣта, то r было бы отрицательное, а r' положительное и мы опять имѣли бы.

$$\frac{1}{F}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r'}-\frac{1}{r}\right).$$

Но при этомъ чрезъ обращенiе r дѣлается такъ великъ, какъ прежде былъ r', и r' какъ r, слѣд. мы должны обѣ эти величины перемѣнить одну въ другую и тогда мы получимъ для $\frac{1}{F}$ совершенно прежнюю величину. Слѣд. и для мениска все равно, какъбы мы ни держали его къ свѣту, главное фокусное разстоянiе и вообще всѣ явленiя остаются однѣ и тѣже.

Еслибъ кривизны мениска были равны, т. е. еслибъ мы имѣли стекло похожее на часовое, тогда бы было $\frac{1}{r}-\frac{1}{r'}=0$, слѣд. $\frac{1}{F}=0$ или $F=\infty$ т. е. лучи, параллельно падающiе на стекло, остаются параллельными и по выходѣ изъ стекла, слѣд. такое стекло дѣйствуетъ, какъ плоское.

Всѣ три рода стеколъ, которые мы до сихъ поръ разсматривали, именно двояко-выпуклое, плоско-выпуклое и менискъ, собираютъ параллельные лучи позади себя въ одной точкѣ, которая только въ однихъ отстоитъ далѣе отъ стекла, въ другихъ ближе къ нему. Слѣд. всѣ они по дѣйствiю ихъ принадлежатъ къ одному и тому же классу, кото-

рый вообще заключаетъ въ себѣ стекла выпуклыя. То, что мы сказали о положеніи свѣтящейся точки въ отношеніи къ ея изображенію въ двояко-выпуклыхъ стеклахъ (§ 154), относится также и къ двумъ другимъ, если только употребимъ соотвѣтствующія главныя фокусныя разстоянія вмѣсто тѣхъ, которыя мы употребляли тамъ.

§ 158.

Если разсмотримъ теперь путь луча, проходящаго чрезъ *двояко-вогнутое* стекло (фиг. 203. IV), то въ главной нашей формулѣ (A) мы должны принять какъ r, такъ и r' за отрицательныя величины, потому что оба эти радіуса лежатъ на сторонахъ противоположныхъ, нежели въ двояко выпуклыхъ стеклахъ, для которыхъ была выведена формула. Слѣд. мы получимъ:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=-(\mu-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right).$$

или для главнаго фокуснаго разстоянія.

$$\frac{1}{F}=-(\mu-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right).$$

Такъ какъ $\mu-1$ есть всегда величина положительная, то F всегда будетъ отрицательная величина и мы въ формулѣ (C)

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}$$

должны F взять съ знакомъ — ; по этому мы получимъ:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=-\frac{1}{F}$$

или

$$f=-\frac{dF}{d+F}.$$

Слѣд. f также будетъ величина отрицательная. Такъ какъ въ нашей первоначальной формулѣ f была положительная

величина, когда она находилась вправо, то она будетъ отрицательною, когда будетъ лежать влѣво. Итакъ точка соединенія направленія лучей послѣ преломленія въ двояко-вогнутыхъ стеклахъ всегда будетъ лежать на сторонѣ падающихъ лучей т. е. послѣ преломленія лучи будутъ расходиться.

Для параллельно падающихъ лучей мы имѣли

$$\frac{1}{F}=-(\mu-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right).$$

Если предположимъ, что обѣ кривизны равны слѣд. $r=r'$ и $\mu=3/2$, то мы получимъ:

$$\frac{1}{F}=-\frac{1}{r}$$

или

$$F=-r.$$

т. е. отрицательное главное фокусное разстояніе такого стекла равно радіусу кривизны поверхности или параллельные лучи послѣ преломленія расходятся такъ, какъ будтобъ они выходили изъ разстоянія отъ стекла, равнаго радіусу кривизны. Точно тоже самое имѣетъ мѣсто въ стеклахъ двояко-выпуклыхъ съ тѣмъ только различіемъ, что въ выпуклыхъ лучи *сходятся* точно такъ, какъ въ вогнутыхъ они *расходятся*.

Подобнымъ же образомъ, какъ для выпуклыхъ стеколъ выводится, что въ плоско-вогнутыхъ и выпукло-вогнутыхъ стеклахъ вообще происходятъ тѣже самыя явленія, какія и въ двояко-вогнутыхъ, съ тѣмъ только различіемъ, что лучи расходятся въ нихъ меньше. По этому всѣ эти стекла составляютъ второй классъ, извѣстный подъ общимъ именемъ вогнутыхъ стеколъ.

Изъ предъидущаго слѣдуетъ, что вогнутыя стекла въ явленіяхъ соотвѣтствуютъ выпуклымъ зеркаламъ точно также, какъ выпуклыя стекла вогнутымъ зеркаламъ.

§ 159.

Теперь чтобъ объяснить происхожденіе изображеній, производимыхъ сферическими стеклами, представимъ себѣ опять (фиг. 205) выпуклое стекло, напр. двояко-выпуклое MN, котораго главное фокусное разстояніе $CF = CF'$ и двойное фокусное разстояніе $CK = CK'$. Пусть передъ стекломъ находится предметъ BA; предположимъ, что онъ малъ, такъ что лучи падающіе на стекло отъ A и B не далеко уклоняются отъ оси.

Если черезъ центръ стекла C проведемъ лучь падающій отъ A, то легко видно, что направленія кривизны въ точкахъ m и n, гдѣ этотъ лучь проходитъ чрезъ обѣ плоскости стекла, можно принимать за параллельныя; слѣд. онъ, какъ и лучь падающій по направленію оси, пройдетъ чрезъ стекло не перемѣняя своего направленія и можетъ быть принятъ за ось для другихъ лучей падающихъ изъ A на стекло; поелику эта ось лучей по предположенію мало удалена отъ главной оси лучей, то законы и формулы, выведенныя нами для свѣтящейся точки, лежащей на главной оси, безъ значительной погрѣшности могутъ быть отнесены и къ этой наклонной оси. Такъ какъ предметъ AB отстоитъ отъ стекла далѣе, нежели на двойное фокусное разстояніе CK, то, какъ мы знаемъ, лучи точки находящейся на оси, соединяются между F′ и K′, также и лучи остальныхъ точекъ соединятся въ равномъ разстояніи на соотвѣтственныхъ имъ осяхъ, слѣд. мы получимъ соединеніе конуса лучей MAN въ A′ и лучей MBN въ B′; лучи точекъ, лежащихъ между A и B, будутъ находиться между A′ и B′; слѣд. A′B′ представитъ изображеніе предмета, которое, если въ этомъ мѣстѣ держать какую-

нибудь бѣлую поверхность, упадетъ на нее и притомъ, въ отношеніи къ предмету, будетъ въ обратномъ положеніи.

Можно посредствомъ построенія найти положеніе изображенія такимъ же образомъ, какъ мы дѣлали это при вогнутыхъ зеркалахъ (фиг. 206). Сперва изъ A и B черезъ центръ C стекла MN проведемъ линіи и потомъ линіи AL и BH параллельныя главной оси KK′; мы знаемъ, что эти лучи необходимо пройдутъ чрезъ главный фокусъ F; по этому тамъ, гдѣ линіи HF и LF пересѣкаютъ линіи проведенныя чрезъ центръ, т. е. въ A′ и въ B′ будутъ точки соединенія лучей выходящихъ изъ A и B; ибо такъ, какъ всѣ лучи одной и той же свѣтящейся точки пересѣкаются въ одной точкѣ, то точка пересѣченія двухъ лучей будетъ также точкою пересѣченія всѣхъ остальныхъ.

Когда лучи предмета пересѣкутся въ A′ и B′, то изъ этой точки они пойдутъ въ расходящихся направленіяхъ и такъ, если глазъ O находится отъ A′B′ въ разстояніи большемъ 9 дюймовъ, то онъ увидитъ въ A′B′ изображеніе предмета AB въ обратномъ видѣ. Величину изображенія A′B′ въ отношеніи къ самому предмету легко опредѣлить изъ пропорціи, которую мы получимъ, если сравнимъ между собою два подобные треугольника BCA и B′CA′, именно:

$$AB : A'B' = CD : CD' = d : f.$$

Итакъ если $\frac{A'B'}{AB}$ назовемъ увеличеніемъ изображенія или W, то будетъ (§ 153. (C))

$$W = \frac{f}{d}.$$

Итакъ какъ $f = \frac{dF}{d - F}$, то будетъ

$$W = \frac{F}{d - F} = \frac{1}{\frac{d}{F} - 1}$$

1. Если d безконечно велико, то и $\frac{d}{F} - 1$ будетъ также безконечно велико и слѣд. будетъ $W = \frac{1}{\infty}$ т. е. W будетъ безконечно мало, по этому изображеніе будетъ безконечно мало въ сравненіи съ предметомъ; чрезвычайная величина солнца и неправильность стекла, какъ мы увидимъ, дѣлаютъ то, что изображеніе солнца въ фокусѣ выпуклыхъ стеколъ представляется немного больше точки.

2. Если предметъ приближается къ стеклу, то изображеніе уменьшится и если $d = 2F$, то $W = 1$, т. е. если предметъ находится отъ стекла на разстояніи, равномъ двойному фокусному разстоянію, то изображеніе равно предмету; извѣстно что оно тогда находится съ предметомъ на равномъ разстояніи, но на противныхъ сторонахъ отъ стекла.

3. Если $d < 2F$, то $\frac{d}{F} - 1$ будетъ дробь, слѣд. $W > 1$ т. е. изображеніе будетъ больше предмета, когда сей послѣдній подвигается къ стеклу на разстояніе меньшее двойнаго фокуснаго разстоянія; извѣстно, что тогда изображеніе будетъ отстоять отъ стекла далѣе нежели самъ предметъ.

4. Если $d = F$, т. е. если предметъ находится въ фокусѣ, то $W = \infty$, т. е. изображеніе будетъ безконечно велико въ отношеніи къ предмету, что и должно быть, потому что въ этомъ случаѣ лучи послѣ преломленія идутъ параллельно и по этому должны дать изображеніе въ безконечно большемъ разстояніи; другими словами — тогда мы не получимъ никакого изображенія.

5. Если наконецъ $d < F$, то $\frac{d}{F} - 1$ будетъ отрицательная дробь и больше 1, слѣд. мы получимъ увеличенное изображеніе, но по другую сторону и не въ обратномъ видѣ, но въ прямомъ; ибо отрицательный знакъ относится здѣсь къ поло-

женію изображенія. Въ самомъ дѣлѣ пусть MN (фиг. 207) будетъ выпуклое стекло, AB предметъ находящійся отъ стекла въ растояніи меньшемъ фокуснаго растоянія F′. Если чрезъ центръ стекла проведемъ линію BC, потомъ линію BK параллельно главной оси, то преломленный лучь отъ K перейдетъ чрезъ фокусъ F и пересѣчется съ BC въ B′ на сторонѣ предмѣта. Слѣд. лучи отъ B послѣ преломленія разойдутся такъ, какъ будтобъ они выходили изъ B′. Подобнымъ же образомъ найдемъ, что лучи выходящіе изъ A, послѣ преломленія расходятся такъ, какъ будтобъ они выходили изъ A′. По этому глазъ, находящійся въ O, увидитъ изображеніе предмета AB въ A′B′.

5. Въ вогнутыхъ стеклахъ послѣ преломленія лучи расходятся еще болѣе нежели прежде паденія, слѣд. мы никогда не получимъ настоящаго изображенія, которое можно бы было принять на плоскость, но всегда такое, которое мы сейчасъ расматривали, т. е. которое глазъ видитъ на одной сторонѣ съ предметомъ. Чтобъ найти увеличеніе въ семъ случаѣ, мы должны только въ прежней формулѣ сдѣлать F отрицательнымъ и мы получимъ;

$$W = \frac{-F}{d+F} = \frac{-1}{\frac{d}{F}+1}$$

Такъ какъ $\frac{d}{F}$ всегда есть величина больше нуля, то знаменатель дроби всегда будетъ больше единицы, слѣд. W будетъ меньше единицы; и такъ изображеніе всегда будетъ меньше самаго предмета и будетъ имѣть прямое положеніе, какъ показываетъ знакъ. Если $d = 0$, т. е. если предметъ прилегаетъ къ самому стеклу, то онъ не покажется уменьшеннымъ.

Также и эти законы для вогнутыхъ стеколъ доказы-

ваются построеніемъ. Пусть AB будетъ предметъ (фиг. 208) MN вогнутое стекло, котораго воображаемый фокусъ находится въ F. Лучь AC пойдетъ далѣе не преломляясь, лучь AK, параллельный оси, отклонится отъ своего направленія такъ, какъ будтобъ онъ выходилъ изъ F, слѣд. оба луча пересѣкутся въ A′, по этому также и всѣ остальные лучи, выходящіе изъ A, послѣ преломленія будутъ казаться выходящими изъ этой точки; подобнымъ же образомъ доказывается, что лучи выходящіе изъ B послѣ преломленія будутъ казаться выходящими изъ B′; и такъ если глазъ будетъ находиться въ O, отъ A′B′ далѣе 9 дюймовъ, то онъ будетъ видѣть изображеніе A′B′ уменьшеннымъ и имѣющимъ прямое положеніе.

§ 160.

Въ предъидущемъ мы всегда говорили о центральныхъ лучахъ, т. е. о тѣхъ, которые падаютъ на стекло весьма близко отъ его оси. Въ практикѣ стекла оставляютъ столь малыя части всей шарообразной поверхности, что падающіе лучи дѣйствительно близко подходятъ къ центральнымъ; но при всемъ томъ это справедливо только приблизительно. Строжайшее изслѣдованіе предмета, которое мы здѣсь опускаемъ, показываетъ слѣдующее:

1. Если параллельные лучи падаютъ на выпуклое стекло, то весьма близкіе изъ нихъ къ оси SF, SC, SG (фиг. 209) соединяются въ главномъ фокусѣ F, который опредѣляется по прежде изложеннымъ правиламъ, напротивъ лучи SM, SN, падающіе на края стекла, соединяются ближе къ стеклу въ F′, остальные же тѣмъ ближе къ F, чемъ больше они приближаются къ центральнымъ. Разность растоянія главнаго фокуса центральныхъ лучей и

фокуса лучей, падающихъ на края стекла, или линія FF′ называется *продольною сферическою аберраціею*. Если продолжимъ линію MF и въ F′ поставимъ перпендикуляръ FK, который пересѣчетъ продолженную линію MF′ въ K, то FK будетъ *боковою аберраціею*.

2. Легко можно видѣть, что въ оптическихъ стеклахъ, какъ мы это видѣли и въ зеркалахъ, сферическая аберрація препятствуетъ всѣмъ лучамъ, выходящимъ изъ одной точки, соединиться послѣ преломленія опять въ одну точку. Въ слѣдствіе этого изображенія бываютъ не ясны, ибо изображеніе каждой точки составляетъ небольшой кругъ, который отчасти закрываетъ круговыя изображенія точекъ непосредственно окружающихъ ее. По этому необходимо нужно уменьшать сферическую аберрацію сколько возможно больше. Этого стараются достигнуть чрезъ измѣненіе кривизнъ; но онѣ для каждаго положенія свѣтящейся точки въ отношеніи къ стеклу должны быть измѣняемы различно; такъ какъ этого въ практикѣ невозможно сдѣлать, то обыкновенно стараются уменьшить аберрацію только для лучей падающихъ параллельно, потому что это весьма важно въ подзорныхъ трубахъ, какъ мы увидимъ послѣ.

3. Однимъ оптическимъ стекломъ невозможно уничтожить аберраціи для паралельныхъ лучей; болѣе всего она уменьшается тогда, когда въ двояко-выпукломъ стеклѣ радіусъ одной кривизны относится къ радіусу другой какъ 1 : 6. и когда болѣе выпуклая сторона обращена къ параллельнымъ лучамъ; по этому, если падающіе лучи параллельны, то эта сторона должна быть обращена къ свѣту; если же выходящіе лучи параллельны (слѣд. если свѣтящаяся точка находится въ фокусѣ), то болѣе выпуклая сторона должна быть

обращена къ выходящимъ лучамъ. Такое стекло называется стекломъ *наилучшаго вида*.

4. Плоско-выпуклое стекло, если выпуклая сторона его обращена къ параллельнымъ лучамъ, дастъ аберрацію въ 4 раза меньшую, нежели когда плоская сторона его обращена къ этимъ лучамъ. Въ первомъ случаѣ аберрація при одинаковой силѣ стеколъ только на $\frac{8}{100}$ больше, нежели въ стеклахъ наилучшаго вида.

5. Двояко-выпуклое стекло, имѣющее равныя кривизны съ обѣихъ сторонъ, даетъ аберрацію, которая на $\frac{57}{100}$ больше, нежели въ стеклахъ лучшаго вида, при равныхъ фокусныхъ разстояніяхъ.

6. Чрезъ соединеніе двухъ стеколъ можно различнымъ образомъ уничтожить аберрацію. Такое стекло называется *апланатическимъ*.

Итакъ изъ предъидущаго мы видимъ, что хотя для центральныхъ лучей все равно, какая бы сторона стекла ни была обращена къ падающимъ лучамъ, но для уничтоженія аберраціи это бываетъ совсѣмъ иначе. Для достиженія наибольшей ясности въ изображеніяхъ это должно принимать въ разсужденіе при дѣланіи подзорныхъ трубъ и микроскоповъ.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

О РАЗЛОЖЕНІИ СВѢТА НА ЦВѢТЫ.

(*О хроматизмѣ*).

§ 161.

До сихъ поръ мы всегда предполагали, что свѣтъ есть вещество простое и что при отраженіи и преломленіи онъ перемѣняетъ только свое направленіе, не измѣняя своей

природы. Въ отраженіи такъ это и бываетъ въ самомъ
дѣлѣ, но въ преломленіи происходитъ другое; именно здѣсь
мы находимъ, что показатель преломленія для различныхъ
частицъ луча, падающаго на одну и туже преломляющую
средину, имѣетъ различныя величины, которыя, хотя не
весьма много отличаются одна отъ другой, однако имѣютъ
всѣ возможныя величины между извѣстными предѣлами.
При этомъ оказывается, что каждой величинѣ μ соотвѣт-
ствуетъ другое впечатлѣніе, которое производится на нашъ
глазъ лучемъ принадлежащимъ къ каждому μ. Эти различ-
ныя впечатлѣнія извѣстны подъ именемъ *цвѣтовъ*.

Что бы убѣдиться въ этомъ, возмемъ стеклянную приз-
му ABC, (фиг. 210. I) обращенную преломляющимъ угломъ
С внизъ и въ темной комнатѣ пропустимъ на плоскость ея АС
лучь SD черезъ отверстіе сдѣланное въ ставнѣ окна. Мы
уже видѣли что, онъ будетъ отклоненъ призмою къ осно-
ванію АВ; если принять этотъ лучь на бѣлую поверхность
MN, то онъ упадетъ на нее выше, нежели безъ призмы.
Однако при этомъ уже невидно бѣлаго круглаго пятна,
какъ безъ призмы, но изображеніе снизу вверхъ имѣетъ
видъ продолговатаго прямоугольника (фиг. 210. II) *mn*, ко-
тораго ширина равна діаметру бѣлаго пятна, получаемаго
безъ призмы на плоскость MN, но длина его сдѣлалась
больше. При этомъ конецъ *n* до 1 кажется *краснымъ*;
пространство отъ 1 до 2 *оранжевымъ*, отъ 2 до 3 *жел-
тымъ*, отъ 3 до 4 *зеленымъ*, отъ 4 до 5 *голубымъ*
отъ 5 до 6 *синимъ*, отъ 6 до *m* или до другаго конца
фіолетовымъ. И такъ видно, что при приломленіи бѣ-
лый лучь разлагается на 7 цвѣтныхъ лучей, изъ кото-
рыхъ красный отклоняется меньше всѣхъ, а фіолетовый
больше всѣхъ. Но такъ какъ отклоненіе зависитъ отъ по-
казателя преломленія свѣта, то мы можемъ также сказать,

что *бѣлый свѣтъ состоитъ изъ 7 цвѣтовъ*, которые будучи смѣшаны въ этой опредѣленной пропорціи производятъ на нашъ глазъ впечатлѣніе бѣлаго цвѣта, и изъ нихъ каждый имѣетъ особеннаго показателя преломленія, который для *фіолетоваго* имѣетъ наибольшую, для *краснаго* наименьшую, а для *желтаго* среднюю величину. Изображеніе этихъ цвѣтовъ, получаемыхъ посредствомъ призмы, называется *призматическимъ спектромъ*. Въ спектрѣ желтый цвѣтъ имѣетъ самый большой блескъ, который мало по малу теряется по обѣ стороны. Впрочемъ цвѣты спектра не отдѣляются рѣзко одинъ отъ другаго, но нечувствительно переходятъ одинъ въ другой, такъ что трудно сказать гдѣ напр. зеленый цвѣтъ оканчивается и начинается голубой. Слѣд. въ самомъ спектрѣ видны весьма различные оттѣнки краснаго, зеленаго и проч. цвѣтовъ и по этому можно бы было принять существованіе болѣе 7 цвѣтовъ, но принимаемые 7 цвѣтовъ существеннѣе отличаются другъ отъ друга и каждый изъ нихъ въ общежитіи уже имѣетъ особенное названіе, между тѣмъ какъ лежащіе между ними цвѣты означаются какъ оттѣнки ихъ. Въ этомъ смыслѣ нужно понимать слова, когда говорятъ съ Ньютономъ, что бѣлый свѣтъ состоитъ изъ 7 цвѣтовъ.

§ 162.

Фрауенгоферъ открылъ, что показатель преломленія μ разныхъ цвѣтовъ, начиная отъ краснаго до фіолетоваго конца спектра, не непрерывно измѣняется, но что здѣсь находятся многіе скачки, при которыхъ величина μ вдругъ дѣлается больше. Слѣдствіемъ этого натурально будетъ то, что между различными цвѣтами должно находиться множество темныхъ пространствъ; но такъ какъ эти пространства

очень малы, то онѣ кажутся темными линіями, которыя пересѣкаютъ спектръ поперегъ. Впрочемъ нельзя ихъ видѣть непосредственно въ спектрѣ, но можно ихъ замѣтить тогда, когда преломленный въ призмѣ цвѣтъ падаетъ на подзорную трубу, черезъ которую мы смотримъ на него. Труба соединяетъ всѣ лучи, имѣющіе одинъ показатель преломленія въ одну линію и черезъ это тотчас дѣлаетъ замѣтными находящіеся между ними темные промежутки. Между этими линіями Фрауенгоферъ открылъ 7 самыхъ большихъ, въ каждомъ цвѣтѣ одну, и означилъ ихъ буквами алфавита, какъ слѣдуетъ:

B	C	D	E	F	G	H
въ красн.	оранжев.	желт.	зелен.	голуб.	син.	фіолетов.

Эти линіи доставляютъ ту большую выгоду, что въ каждомъ цвѣтѣ онѣ представляютъ рѣзко означенный предметъ, такъ что по нимъ можно опредѣлить раздѣленіе цвѣтовъ при различныхъ обстоятельствахъ и точно измѣрить его.

Впрочемъ эти линіи замѣчаются какъ въ выходящемъ непосредственно изъ солнца лучѣ, такъ и въ отраженномъ солнечномъ свѣтѣ, слѣд. въ свѣтѣ луны и планетъ. Но неподвижныя звѣзды, хотя имѣютъ въ своемъ спектрѣ линіи, но онѣ другія и иначе расположенныя, такъ что по этому мы имѣемъ вѣрный признакъ, по которому можно сказать, отъ солнца ли первоначально происходилъ какой нибудь свѣтъ или нѣтъ. Различные роды пламени не показываютъ темныхъ линій, если лучъ ихъ проходитъ чрезъ призму, но вмѣсто темныхъ въ нихъ видны свѣтлыя линіи; этимъ доказывается, что они испускаютъ изъ себя нѣ-

*

котораго рода лучи въ большемъ количествѣ, нежели остальные.

§ 163.

Ньютонъ доказавши, что посредствомъ преломленія въ призмѣ легко разложить бѣлый лучь свѣта на 7 цвѣтовъ, показалъ наоборотъ, что если эти 7 цвѣтовъ соединяются въ одну точку, то они опять составляютъ бѣлый цвѣтъ. Онъ дѣлалъ это посредствомъ выпуклаго стекла, на которое онъ принималъ лучи призматическаго спектра; въ фокусѣ, гдѣ по теоріи соединяются всѣ лучи вмѣстѣ, находимъ бѣлый цвѣтъ.

Старались доказать другимъ образомъ, что смѣшеніе 7 цвѣтовъ сколько возможно болѣе приближающихся къ призматическимъ цвѣтамъ и взятыхъ въ той же пропорціи, въ которой они находятся въ призматическомъ спектрѣ, производитъ бѣлый цвѣтъ; но отъ трудности имѣть совершенно тѣже цвѣты и совершенно въ той же пропорціи, этотъ опытъ удается только приблизительно. Обыкновенный способъ этого производства есть слѣдующій. Найдено посредствомъ опыта, что впечатлѣніе, производимое на нашъ глазъ лучемъ, прекращается не мгновенно, но продолжается около $\frac{1}{10}$ секунды, послѣ того, какъ впечатлѣніе кончилось. По этому если какое нибудь свѣтящееся тѣло, напр. горящій уголь, будемъ вертѣть кругомъ такъ, что бы онъ совершилъ полный круговой оборотъ меньше нежели въ $\frac{1}{10}$ секунды, то начинается второе впечатлѣніе, производимое горящимъ углемъ на нашъ глазъ на какомъ нибудь мѣстѣ своего пути,

между тѣмъ, какъ первое еще не прекратилось; по этому раскаленный уголь будетъ видимъ въ продолженіи всего обращенія и подобнымъ образомъ на всякомъ другомъ мѣстѣ круга, слѣд. мы получимъ впечатлѣніе раскаленнаго круга. Это явленіе всякому извѣстно; подобное ему бываетъ, когда въ колесѣ быстро катящейся коляски мы не видимъ шпицъ, но вмѣсто ихъ однородную поверхность.

Теперь представимъ себѣ плоскость круга раздѣленнаго на 7 секторовъ, которые какъ можно ближе пропорціональны пространствамъ занимаемымъ различными цвѣтами въ спектрѣ. Если каждый секторъ окрасимъ соотвѣтствѣннымъ цвѣтомъ и станемъ обращать кругъ весьма быстро около своего центра, такъ, что бы каждый оборотъ его совершался менѣе, нежели въ $\frac{1}{10}$ секунды, то каждый секторъ, какъ въ нашемъ примѣрѣ раскаленнаго угля, будетъ казаться расширившимся въ полный кругъ и такъ какъ полученные такимъ образомъ 7 цвѣтныхъ круговъ покрываются одинъ другимъ, то произойдетъ смѣшеніе цвѣтовъ. Если при этомъ цвѣты выбраны удачно, то мы получимъ цѣлый кругъ приближающійся къ бѣлому цвѣту, но который обыкновенно переходитъ въ сѣрый.

Черный цвѣтъ есть отсутствіе всякаго цвѣта и когда мы смотримъ на совершенно черное пятно, находящееся на бѣломъ полѣ, то собственно говоря мы не видимъ чернаго пятна, но только края бѣлой плоскости. *Сѣрый* цвѣтъ есть смѣшеніе бѣлаго и чернаго т. е. онъ есть бѣлая поверхность освѣщенная болѣе или менѣе.

Смѣшеніе синяго и желтаго дастъ *зеленый* цвѣтъ, смѣшеніе краснаго и синяго *фіолетовый* и такимъ образомъ

можно всѣ прочіе цвѣты сложить изъ простыхъ призматическихъ. Но эти цвѣты, зеленый и фіолетовый, которые мы получили чрезъ смѣшеніе двухъ цвѣтовъ, отличаются отъ соотвѣтственныхъ цвѣтовъ въ спектрѣ тѣмъ, что въ нихъ цвѣты могутъ быть раздѣлены посредствомъ преломленія, если напр. на нихъ смотрѣть сквозь призму, между тѣмъ какъ цвѣты спектра не могутъ быть болѣе разложены этимъ способомъ. Это можно доказать тѣмъ, что если принимаемъ призматическій спектръ на какую нибудь плоскость съ отверстіемъ, находящимся на такой высотѣ, что чрезъ него проходитъ часть напр. зеленаго цвѣта и если примемъ этотъ зеленый лучь на другую призму, то хотя онъ будетъ отклоненъ, однако не будетъ разложенъ на синій и желтый, но лучь останется такимъ же какъ былъ прежде, т. е. всѣ части его будутъ преломлены одинаковымъ образомъ.

§ 164.

Если S будетъ бѣлая точка, отъ которой конусъ лучей SAC (фиг. 211) падаетъ на призму, то послѣ преломленія этотъ конусъ раздѣлится на 7 конусовъ, изъ которыхъ фіолетовый будетъ отклоненъ больше всѣхъ, красный меньше всѣхъ а другіе цвѣты будутъ находиться между ними; теперь если BHCH′ будетъ *фіолетовый*, BKCK′ *красный* конусъ, то первый будетъ казаться выходящимъ изъ точки v, а послѣдній изъ точки r, между тѣмъ, какъ кажущіяся точки выхода остальныхъ цвѣтныхъ конусовъ будутъ лежать между v и r. Слѣд. если въ O будетъ находиться глазъ, на который въ этой точкѣ упадетъ нѣкоторая часть изъ всѣхъ лучей, то онъ у vr увидитъ, вмѣсто бѣлой точки, рядъ цвѣтныхъ точекъ или

цвѣтную линію вверху красную, внизу фіолетовую. Итакъ если сквозь призму будемъ смотрѣть на бѣлую точку и при этомъ оборотимъ призму преломляющимъ ребромъ внизъ, то увидимъ бѣлую точку пониженною и растянутою въ вертикальную линію, которая вверху *красного*, а внизу *фіолетоваго* цвѣта, а между концами ея будутъ находиться всѣ остальные призматическіе цвѣты.

Если сквозь призму будемъ смотрѣть на однообразно бѣлую, неограниченную поверхность, то каждая точка ея даетъ такую цвѣтную линію; такъ какъ въ поверхности безконечное множество точекъ, находящихся одна подлѣ другой, то и цвѣтныя линіи также будутъ лежать безконечно близко одна подлѣ другой. Слѣд. красный конецъ одной линіи по необходимости упадетъ на фіолетовой конецъ другой линіи, сюда также упадетъ зеленая часть третьей линіи, желтая четвертой линіи и т. д.; по этому каждая точка поверхности будетъ заключать всѣ 7 цвѣтовъ спектра и точно въ такой пропорціи, которая необходима для бѣлаго цвѣта, слѣд. бѣлая поверхность и сквозь призму будетъ казаться бѣлою.

Если AB (фиг. 212) будетъ границею двухъ поверхностей, изъ которыхъ нижняя бѣлаго цвѣта, а верхняя чернаго, и если сквозь призму, обращенную преломляющимъ ребромъ внизъ, будемъ смотрѣть на AB, то напр. точка A даетъ цвѣтную линію, которая краснымъ концемъ обращена вверхъ и которая вся немного понизилась, напр. до rv. Ближайшая, внизъ отъ A лежащая, точка даетъ такую же линію пониженную, напр. $r'v'$, гдѣ $r'v'$ нужно себѣ представить лежащею на rv; третья точка даетъ $r''v''$, четвертая $r'''v'''$ и т. д. Всѣ эти линіи, начерченныя для ясности одна подлѣ другой, будутъ наложены на rv. Изъ этого

слѣдуетъ, что линія, происходящая отъ этого, на верху останется красною, между тѣмъ какъ на нижнюю часть ея упадутъ отъ нижайшихъ точекъ BA остальныя 6 цвѣтовъ, такъ что слѣд. эта часть будетъ бѣлою. Тоже самое будетъ имѣть мѣсто въ каждой другой точкѣ границы AB; слѣд. мы увидимъ, что бѣлая плоскость выше предѣла, отдѣляющаго ее отъ черной, ограничена красною полосою. Такимъ же образомъ легко можно видѣть, что если вверху надъ границею AB будетъ бѣлая поверхность а внизу черная, то бѣлая плоскость на нижнемъ краю будетъ казаться фіолетовою. Если одна изъ поверхностей не будетъ совершенно черная, но только немного темнѣе бѣлой поверхности, то явленіе будетъ тоже, съ тѣмъ только различіемъ, что цвѣтъ красной полосы будетъ не столько ярокъ, потому что тогда онъ будетъ смѣшенъ съ другими, но слабѣйшими цвѣтами происходящими отъ лучей темной поверхности. Изъ этого слѣдуетъ что, *если свѣтлая полоса лежитъ на темномъ полѣ и если будемъ сквозь призму смотрѣть на границу, отдѣляющую ее отъ поля, то здѣсь всегда будутъ видны цвѣты*; если, какъ въ нашемъ примѣрѣ, граница горизонтальна и преломляющее ребро призмы параллельно ей и обращено внизъ, *то свѣтлая поверхность вверху будетъ казаться ограниченною красною каймою, а внизу фіолетовою. Подобнымъ образомъ если бы на свѣтломъ полѣ находилась темная полоса, то внизу она казалась бы ограниченною красною, а вверху фіолетовою каймою*; ибо здѣсь мы собственно видимъ вверху нижній край верхняго свѣтлаго поля, а внизу верхній край нижняго поля. Таково напр. явленіе бываетъ, когда сквозь горизонтальную призму, обращенную преломляющимъ угломъ внизъ, смотримъ въ комнатѣ на горизонтальную часть оконичной рамы; она представляетъ темную полосу на свѣтломъ полѣ дневнаго свѣта, сверху она кажется ограниченною фіолетовою, а внизу красною полосою и вмѣстѣ съ тѣмъ значительно пониженною.

§ 165.

Мы видѣли, что если бѣлый лучь свѣта проходитъ чрезъ призму, то фіолетовый лучь H больше отклоняется нежели красный B. Разность угловъ отклоненія называется *свѣто-разсѣяніемъ*. Если изъ одного и тогоже прозрачнаго тѣла, напр. изъ одного куска стекла, сдѣлаемъ нѣсколько призмъ съ различными преломляющими углами, то очевидно разность отклоненія лучей H и B или свѣто-разсѣяніе будетъ тѣмъ больше, чѣмъ будетъ больше отклоненіе вообще: слѣд. призма, съ преломляющимъ угломъ въ 60°, произведетъ большее отклоненіе и больше разсѣетъ цвѣты, нежели призма съ угломъ 30°, если обѣ онѣ состоятъ изъ одного и тогоже стекла.

Если возмемъ двѣ призмы, сдѣланныя изъ различныхъ прозрачныхъ срединъ, то онѣ будутъ имѣть различные показатели преломленія μ. Возмемъ призму K (фиг. 213) изъ стекла такъ называемаго *кронгласомъ* (Crounglas), которое есть самое чистое обыкновенное стекло, а другую F изъ *флинтгласа* (Flintglas), которое получается чрезъ прибавленіе свинцовой окиси къ кронгласу: показатель преломленія флинтгласа больше показателя преломленія кронгласа; по этому если обѣимъ призмамъ дадимъ равные преломляющіе углы C и C′, то призма изъ флинтгласа произведетъ большее преломленіе лучей, нежели призма изъ кронгласа; если уголъ C′ призмы изъ флинтгласа станемъ уменьшать мало по малу, то можемъ довести его до того, что

отклоненіе, производимое призмою изъ флинтгласа, будетъ равно отклоненію, производимому призмою изъ кронгласа. Въ этомъ случаѣ если напр. красный лучь B въ обѣихъ призмахъ равнымъ образомъ отклонится, то найдемъ, что отклоненіе луча H въ флинтгласовой призмѣ будетъ значительно больше отклоненія въ кронгласовой призмѣ. Слѣд. цвѣтной спектръ флинтгласа, не смотря на равное отклоненіе краснаго цвѣта, будетъ значительно длиннѣе спектра кронгласа. Если опытъ произведенъ такъ, что получимъ оба спектра въ темной комнатѣ одинъ подлѣ другаго, то онѣ будутъ имѣть длины, показанныя въ фиг. 214, гдѣ K представляетъ спектръ кронгласа, F спектръ флинтгласа; B, D, H и B′, D′, H′ изображаютъ фрауенгоферовы линіи краснаго, желтаго и фіолетоваго цвѣта въ обѣихъ призмахъ.

Итакъ изъ этого мы должны заключить, что хотя флинтгласъ и сильнѣе преломляетъ свѣтъ, нежели кронгласъ, однако свѣто-разсѣяніе увеличивается въ немъ болѣе чрезъ прибавленіе окиси свинца, нежели преломленіе. Если употребимъ другія средины, то всегда найдемъ подобное явленіе въ большей или меньшей степени, такъ что получимъ за общее правило: *въ преломляющихъ срединахъ преломленіе не пропорціонально свѣто-разсѣянію.* Слѣдствіе этаго закона есть то, что чрезъ соединеніе двухъ срединъ можно бѣлый цвѣтъ посредствомъ преломленія отклонить, не разлагая его на цвѣты, такъ что чрезъ двѣ такія призмы можно видѣть предметъ отклоненнымъ, а не окрашеннымъ цвѣтами.

Такое соединеніе двухъ призмъ называется *ахроматической призмою* и устройство ея понятно будетъ изъ слѣдующаго:

Представимъ себѣ призму MNL (фиг. 215) изъ кронгла-

са, обращенную внизъ преломляющимъ угломъ L, и подлѣ нея призму M′N′L′ изъ флинтгласа, обращенную вверхъ преломляющимъ угломъ L′; лучь SF будетъ отклоненъ первою призмою вверхъ, второю внизъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ красный цвѣтъ его B отъ дѣйствія первой призмы долженъ лежать больше внизъ, а отъ дѣйствія второй больше вверхъ, нежели фіолотовой H. Теперь представимъ себѣ что мы можемъ уголъ L′ флинтгласовой призмы мало по малу увеличивать, начиная отъ 0 (мы примемъ это какъ совершенно гипотетической случай и не нужно намъ знать, какъ сдѣлать это въ практикѣ); при этомъ постепенномъ увеличиваніи угла L′ мы прежде дойдемъ до такой величины его, при которой свѣто-разстояніе флинтгласовой призмы будетъ равно свѣто-разсѣянію кронгласовой, но отклоненіе все будетъ еще меньше, потому что свѣто-разсѣяніе для флинтгласа, какъ мы тотчасъ видѣли, увеличивается скорѣе нежели преломленіе вообще. Когда уголъ L′ достигнетъ этой величины, то свѣто-разсѣяніе первой призмы будетъ уничтожено вторымъ т. е. въ бѣломъ лучѣ фіолетовый H и красный B и слѣд. всѣ лежащіе между ними цвѣты, пойдутъ по одному направленію и по этому составятъ бѣлый цвѣтъ; но, такъ какъ уголъ L′ не столько великъ, чтобъ могъ уничтожить отклоненіе произведенное призмою MNL, то этотъ бѣлой лучь отклонятся, какъ показано въ фигурѣ, въ сторону отклоненія кронгласовой призмы и наши двѣ призмы составятъ *ахроматическую* призму. Если углы L и L′ не велики, то точное исчисленіе показываетъ что въ этомъ случаѣ L должно относиться къ L′, какъ свѣто-разсѣяніе призмы M′N′L′ къ свѣто-разсѣянію призмы MNL, или, что *преломляющіе углы обратно пропорціональны свѣто-разсѣянію призмъ.* Если сквозь такую призму будемъ смотрѣть на раму окна, то она не бу-

детъ казаться вверху фіолетовою а внизу краскою, какъ въ прежнемъ опытѣ, но края ея будутъ въ натуральномъ видѣ, хотя все изображеніе останется пониженнымъ.

§ 166

Если изъ точки S на выпуклое стекло MN (фиг. 216) падаютъ бѣлые лучи, то содержащіеся въ ней фіолетовые лучи сильнѣе преломятся, слѣд. соединятся ближе къ стеклу въ H, нежели красные лучи соединяющіеся въ B. Между H и B будутъ находиться всѣ точки соединенія остальныхъ цвѣтныхъ лучей. Послѣ преломленія оба луча будутъ расходиться изъ точекъ H и B въ видѣ двухъ конусовъ FHG и EBC, изъ которыхъ фіолетовый передъ фокуснымъ разстояніемъ заключается въ красномъ, далѣе же послѣ пресѣченія лучей красный въ фіолетовомъ конусѣ. Если въ AD будемъ держать бѣлую поверхность, то мы увидимъ на ней между m и n бѣлый кругъ, потому что здѣсь конусы лучей всѣхъ цвѣтовъ совпадаютъ, но этотъ кругъ будетъ ограниченъ фіолетовымъ цвѣтомъ въ mp и nq. Въ A′B′ красный и фіолетовый круги совершенно покроются, а остальные цвѣты нѣтъ, что очевидно уже изъ того, что одинъ изъ нихъ на этомъ разстояніи будетъ имѣть свой фокусъ, слѣд. будетъ находиться только въ одной точкѣ; по этому A′D′, будетъ самый малѣйшій кругъ, въ которомъ сходятся падающіе лучи, но онъ будетъ окрашенъ. Здѣсь мы видимъ другую причину, кромѣ сферической аберраціи, по которой выпуклыя стекла соединяютъ лучи, падающіе на нихъ изъ какой нибудь точки, не въ одну точку, но въ кругъ, и по этому произведутъ не ясность изображенія. Эту причину неясности изображенія называютъ *хроматическою аберраціею*. Если поставимъ плоскость въ A″D″, то

между $m'n'$ опять получимъ бѣлый кругъ, но теперь онъ ограниченъ въ $p'm'$ и $n'q'$ не фіолетовою, но красною каймою.

Сферическая аберрація можетъ быть устранена посредствомъ надлежащаго расположенія поверхностей двухъ стеколъ, вмѣсто одного, какъ мы уже видѣли. Хроматическая аберрація также можетъ быть устранена, если возмемъ два оптическія стекла изъ различныхъ родовъ стекла, а именно: одно выпуклое изъ кронгласа, а другое вогнутое изъ флинтгласа; такое двойное стекло называется *ахроматическимъ*. Если требуется получить точныя изображенія предмета, то могутъ быть употребляемы только стекла такого рода. Что соединеніе двухъ стеколъ изъ различнаго рода стекла можетъ собирать бѣлые лучи, выходящіе изъ одной точки, въ одинъ фокусъ, несмотря на различные показатели преломленія цвѣтовъ, заключающихся въ бѣломъ лучѣ, можно доказать такимъ же образомъ, какъ и для ахроматическихъ призмъ.

Пусть MN будетъ выпуклое стекло изъ кронгласа, M′N′ вогнутое изъ флинтгласа (фиг. 217), которое мы опять себѣ представляемъ измѣняющимся, такъ что вогнутость его, начиная отъ плоскаго вида, при которомъ она равна нулю, болѣе и болѣе увеличивается. Когда флингласовое стекло съ обѣихъ сторонъ плоско, то падающіе *параллельные* лучи SM и SN, которыми только мы здѣсь ограничимся, отъ дѣйствія одного выпуклаго стекла соединятся такъ, что фокусъ краснаго будетъ въ B, фіолетоваго въ H. Если вогнутость стекла M′N′ дѣлается больше, то по причинѣ разсѣвающей силы вогнутаго стекла точки соединенія лучей подвинутся дальше и при этомъ фокусы лучей H′ и B′ будутъ ближе одна отъ другой. Эта близость увеличивается скорѣе нежели отдаленіе ихъ отъ M′N′, такъ что разстояніе ихъ H′B′, напримѣръ при двой-

номъ разстояніи BC, меньше $1/2$ HB. При большемъ увеличеніи вогнутости стекла оно дойдетъ до того, что H и B соединятся въ точкѣ $(H + B)$, также и лучи лежащіе между ними; тогда, не принимая въ разсужденіе сферической аберраціи, мы получимъ въ $(H + B)$ безцвѣтное соединеніе параллельныхъ лучей въ одной точкѣ и оба стекла MN и M′N′ составятъ *ахроматическое стекло*. Въ этомъ случаѣ *фокусныя разстоянія стеколъ обратно пропорціональны свѣто-разсѣяніямъ.* Такъ какъ эти фокусныя разстоянія при различныхъ кривизнахъ поверхностей стеколъ могутъ оставаться постоянными, то можно дать имъ такія кривизны, что онѣ вмѣстѣ будутъ и апланатическими. Хорошее стекло такого рода, какъ приготовилъ его Фрауенгоферъ для своихъ знаменитыхъ телескоповъ, имѣетъ видъ, показанный въ фигурѣ 218. Изъ ней видно, что стекло изъ кронгласа есть двояко-выпуклое, а стекло изъ флинтгласа выпукло-вогнутое; поверхности обращенныя одна къ другой имѣютъ почти одну кривизну, онѣ накладываются одна на другую, но въ трехъ мѣстахъ по краямъ между стеклами кладутъ три маленькіе оловянные листочка, такъ что стекла не касаются другъ друга. Если бы хотѣли сдѣлать оба стекла изъ одной и тойже выплавки, то вогнутое не прежде моглобъ сдѣлать параллельными фіолетовый и красный лучи, какъ тогда, когда оно уничтожило бы отклоненіе ихъ вообще; по этому посредствомъ такихъ стеколъ нельзя получить ахроматическаго изображенія предмета, но лучи послѣ преломленія пойдутъ въ такомъ же расходящемся направленіи, въ какомъ они падали. Совершенно было бы тоже, если бы употреблены были двѣ различныя средины, но которыхъ преломляющія силы совершенно пропорціональны разсѣевающимъ. Знаменитый Ньютонъ, введенный въ заблужденіе

однимъ не точнымъ опытомъ, думалъ, что послѣднее обстоятельство всегда имѣетъ мѣсто и по этому считалъ ахроматизмъ за невозможное дѣло. Долландъ первый сдѣлалъ ахроматическое стекло изъ флинтгласа и кронгласа. Фрауенгоферъ достигъ до большаго совершенства ахроматизма.

§ 167.

По предыдущему бѣлый свѣтъ содержитъ 7 различныхъ цвѣтовъ, и если сравнимъ свѣтлость различныхъ цвѣтовъ въ спектрѣ и пространства, которыя занимаются ими, то найдемъ что въ бѣломъ свѣтѣ больше всего находится желтаго цвѣта и что количества остальныхъ цвѣтовъ уменьшаются по обѣ стороны призматическаго спектра. По этому можно себѣ представить, что пучекъ бѣлаго свѣта состоитъ изъ равно-свѣтлыхъ лучей различнаго цвѣта, но что число желтыхъ лучей самое большое, число же другихъ цвѣтныхъ лучей уменьшается по обѣ стороны спектра. Не возможно съ точностію опредѣлить отношенія различныхъ цвѣтныхъ лучей; для краткости мы ограничимся 3-мя родами лучей, красныхъ, желтыхъ и синихъ и приблизительно примемъ, для каждаго цвѣта, слѣдующія числа лучей: для краснаго 600, для желтаго 1000, для синяго 500: мы увидимъ, что для слѣдствій, которыя мы хотимъ вывести, не нужно знать съ точностію эти числа.

Если бѣлый свѣтъ падаетъ на тѣло съ не полированною поверхностію, то мы можемъ представить себѣ эту плоскость состоящею изъ весьма малыхъ полированныхъ плоскостей, лежащихъ не въ одной плоскости, но имѣющихъ всѣ возможныя наклоненія другъ къ другу. Слѣд. свѣтъ отраженъ будетъ не въ одномъ направленіи, но такъ какъ углы паденія на малыя плоскости, различно накло-

ненныя другъ къ другу, имѣютъ всѣ возможныя величины отъ 0^0 до 90^0, то отраженные лучи послѣ отраженія будутъ имѣть всѣ возможныя направленія; отъ этого тѣло будетъ видимо со всѣхъ сторонъ. Но при этомъ только часть лучей отражается, какъ мы уже видѣли, другая входитъ въ тѣло и или проходитъ чрезъ него, когда оно прозрачно, или уничтожается, если оно не прозрачно. Кромѣ того при этомъ оказывается, что на многихъ тѣлахъ число лучей различныхъ цвѣтовъ отраженныхъ не всегда составляетъ туже самую часть числа падающихъ лучей, но весьма различную; отъ этого происходятъ различные цвѣты тѣлъ. Если напр. тѣло имѣетъ такое свойство, что оно отражаетъ краснаго цвѣта $^1/_2$, желтаго $^1/_{10}$ и синяго $^1/_5$, падающихъ лучей, то число отраженныхъ лучей будетъ для краснаго 300, для желтаго 100, для синяго 100. Если возмемъ изъ этихъ красныхъ лучей 60, изъ синихъ 50, то они со 100 желтыми имѣютъ отношеніе требуемое для составленія бѣлаго свѣта; кромѣ того осталось еще 240 красныхъ и 50 синихъ, которые вмѣстѣ составятъ пурпуровый цвѣтъ, такъ что цвѣтъ тѣла составленъ будетъ изъ бѣлаго и пурпуроваго т. е. будетъ казаться свѣтло-пурпуровымъ.

Такъ въ самомъ дѣлѣ составлена большая часть цвѣтовъ встрѣчающихся въ природѣ; въ нихъ всегда находится часть бѣлаго свѣта, который смѣшанъ съ цвѣтами свойственными тѣлу. Чѣмъ меньше бѣлаго свѣта, тѣмъ чище кажется цвѣтъ. Одна изъ самыхъ чистыхъ красокъ есть напр. синяя индиговая, впрочемъ и въ ней находится часть бѣлаго. Итакъ по предъидущему объясненію цвѣтовъ, бѣлое тѣло есть то, которое отражаетъ одну и туже часть отъ каждаго цвѣта, напр. $^1/_4$; тогда отношеніе отраженныхъ цвѣтныхъ лучей остается то, которое было, и всѣ

вмѣстѣ цвѣты составятъ опять бѣлый. Черное тѣло есть то, которое не можетъ отразить ни одного луча.

Справедливость изложеннаго взгляда на цвѣты доказывается слѣдующимъ опытомъ: если въ совершенно темную комнату пропустимъ солнечный лучь и посредствомъ призмы разложимъ его на 7 обыкновенныхъ цвѣтовъ, то кусокъ индиго въ синемъ цвѣтѣ будетъ казаться ярко синимъ, въ прочихъ же цвѣтахъ весьма темнымъ, почти чернымъ, потому что онъ отражаетъ весьма малую часть ихъ. Если возмемъ кусокъ краснаго сукна не совершенно чистаго цвѣта, то онъ будетъ казаться окрашеннымъ въ тотъ цвѣтъ, въ который кладутъ его, только въ красномъ цвѣтѣ онъ дѣлается блистательнѣе; ибо такъ какъ это сукно отражаетъ большую часть бѣлаго свѣта, то оно и можетъ отразить каждый цвѣтъ.

§ 168.

Часть свѣта не отраженная отъ первой внѣшней поверхности тѣла частію уничтожается или, какъ говорятъ, поглощается тѣломъ и тогда она не подлежитъ ни какимъ изысканіямъ, или она проходитъ въ прозрачныхъ тѣлахъ насквозь, причемъ направленіе ея измѣняется по законамъ, которые мы уже изслѣдовали при преломленіи. Но при прохожденіи измѣняется также и напряженіе этой части и это составляетъ предметъ настоящаго нашего разсужденія. Нѣтъ ни одного тѣла, которое бы пропускало чрезъ себя свѣтъ безъ всякаго ослабленія; мы замѣчаемъ, что даже воздухъ не есть совершенно прозрачная средина, когда смотримъ на отдаленные предметы. Также нѣтъ тѣла совершенно не прозрачнаго, когда и золото въ листахъ легко пропускаетъ его, такъ что по этому всѣ тѣла между этими предѣлами,

конечно весьма обширными, болѣе или менѣе прозрачны. Посмотримъ, что происходитъ отъ этой не совершенной прозразности тѣлъ. Представимъ себѣ, что на такое тѣло съ плоскими параллельными поверхностями падаютъ бѣлые лучи, изъ которыхъ 1000 проникаютъ въ тѣло. Раздѣлимъ тѣло мысленно на слои, параллельные его поверхности и равной толщины и предположимъ, что не совершенная непрозрачность тѣла есть такого рода, что изъ числа всѣхъ лучей $^9/_{10}$ проникаютъ чрезъ первый слой, остальные же уничтожаются, слѣд. останутся еще 900, которые должны итти во второй слой; но и этотъ будетъ дѣйствовать опять также какъ первой, слѣд. пропуститъ $^9/_{10}$ т. е. 810 лучей; также и третій слой пропуститъ только $^9/_{10}$ этого числа т. е. 729 и т. д. Итакъ мы видимъ, что ослабленіе, производимое слѣдующими слоями, хотя дѣлается меньше, нежели въ предшествующихъ слояхъ (сперва было уничтожено 100, потомъ 90, потомъ 81), но при всѣмъ томъ свѣтъ тѣмъ больше ослабляется, чѣмъ толще слой.

Но здѣсь входитъ опять тоже самое обстоятельство, которое имѣло мѣсто и при отраженіи, состоящее въ томъ, что не отъ всѣхъ цвѣтовъ, содержащихся въ бѣломъ свѣтѣ, проходитъ сквозь тѣло таже самая часть. Представимъ себѣ опять для краткости только 3 цвѣта въ бѣломъ свѣтѣ, (все, что скажемъ объ нихъ, можно легко отнести ко всѣмъ 7 цвѣтамъ), и притомъ опять 600 красныхъ, 1000 желтыхъ и 500 синихъ, входящихъ въ средину. Есть прозрачныя средины, пропускающія каждаго цвѣта одинаковое количество, напр. $^9/_{10}$, и тогда слѣд. бѣлой свѣтъ опять будетъ пропущенъ бѣлымъ; но есть и другія средины, которыя пропускаютъ напр. краснаго $^9/_{10}$, желтаго $^1/_{10}$, синяго $^1/_5$; эти средины называются *окрашенными* и лучь, проходящій чрезъ нихъ, всегда сдѣлается

цвѣтнымъ и цвѣтъ его бываетъ тѣмъ чище, чѣмъ толще слой. Въ самомъ дѣлѣ представимъ себѣ въ срединѣ такіе слои равной толщины, какъ прежде; тогда мы получимъ слѣдующіе проходящіе лучи:

Входящіе въ первый слой лучи.	После прохожденія чрезъ слои:			
	чрезъ 1	чрезъ 2	чрезъ 3	чрезъ 4
Красныхъ 600	540	486	437	393
Желтыхъ 1000	100	10	1	0
Синихъ 500	100	20	4	1.

въ этой таблицѣ дроби опущены; изъ ней видно, что стекло, состоящее изъ четырехъ такихъ слоевъ, пропускаетъ только красный цвѣтъ, между тѣмъ какъ при толщинѣ одного слоя еще проходитъ много желтыхъ и синихъ лучей. Что при достаточной толщинѣ въ самомъ дѣлѣ стекло пропускаетъ только красный цвѣтъ, въ этомъ можемъ удостовѣриться, если будемъ смотрѣть сквозь такое стекло на призматическій спектръ; всѣ части его изчезаютъ кромѣ краснаго конца. Такія стекла можно съ выгодою употреблять для того, чтобъ уединить изъ падающихъ въ темную комнату солнечныхъ лучей одни красные лучи. Подобнымъ же образомъ мы можемъ уединить фіолетовые лучи чрезъ фіолетовую средину. Нѣкоторыя изъ окрашенныхъ срединъ имѣютъ то свойство, что если онѣ образуютъ тонкіе слои, то пропускаютъ одинъ цвѣтъ, а при большей толщинѣ другой. Такъ напр. растворъ хроміево-кислаго кали кажется зеленымъ, если смотрѣть на свѣтъ сквозь тонкой слой его, напротивъ когда онъ образуетъ

толстый слой, то темно-краснымъ; это есть простое слѣдствіе предъидущаго. Въ самомъ дѣлѣ, если предположимъ, что это вещество при толщинѣ слоя въ 1‴ пропускаетъ краснаго цвѣта $^9/_{10}$, зеленаго $^8/_{10}$ и другихъ цвѣтовъ такое незначительное количестсо, что ихъ нельзя принять въ уваженіе, и если принимаемъ, что число зеленыхъ лучей въ бѣломъ свѣтѣ = 900, то мы получимъ:

Входящіе лучи.	Число лучей проходящихъ чрезъ слой толщиною:									
	1‴	2‴	3‴	4‴	5‴	6‴	7‴	8‴	9‴	10‴
Красныхъ 600	540	486	437	393	353	319	287	258	232	209
Зеленыхъ 900	720	576	461	369	295	236	189	151	121	97

Здѣсь мы видимъ, что послѣ прохожденія чрезъ 1, 2, 3 слои зеленые лучи имѣютъ перевѣсъ, но потомъ начинается перевѣсъ красныхъ лучей и увеличивается болѣе и болѣе, чѣмъ толще становится слой, по этому цвѣтъ жидкости становится темнокраснымъ. Слѣд. причина этого *дихроизма* или этой двуцвѣтности состоитъ въ томъ, что число лучей, падающихъ въ большемъ количествѣ, уменьшается скорѣе, нежели число падающихъ въ меньшемъ количествѣ; отъ этого при увеличеніи толщины слоевъ мы дойдемъ наконецъ до слоя такой толщины, при которомъ число послѣднихъ лучей остается больше, нежели число первыхъ.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

О СТРОЕНІИ ГЛАЗА И О ЗРѢНІИ.

§ 169.

Прежде мы уже замѣтили, что не испорченный или, какъ говорятъ, *нормальный глазъ* ясно видитъ предметы тогда, когда они отдалены отъ него не менѣе 9 дюймовъ. Поищемъ теперь причины этого въ подробнѣйшемъ разсмотрѣніи строенія глаза.

Если разсѣчемъ человѣческій глазъ вертикальною плоскостію, то получимъ въ разрѣзѣ фигуру 219. Глазъ заключенъ въ перепонкообразной бѣлой кожицѣ BACD, которая въ части болѣе выпуклой AB прозрачна и называется здѣсь *роговою* оболочкою. Не прозрачная бѣлая часть называется *склеротикою*. Внутри склеротики прилегаетъ къ ней вторая оболочка глаза—*сосудистая*, кругомъ покрытая чернымъ пигментомъ, въ KL она имѣетъ отверстіе—*зрачекъ*; видимый кругъ этой кожицы за роговою оболочкою, въ которомъ находится зрачекъ, у различныхъ особъ бываетъ различнаго цвѣта, по этому мы различаемъ глаза голубые, сѣрые, черные и другіе. Позади зрачка, тоже прикрѣплено къ сосудистой оболочкѣ, находится такъ называемое *кристалловидное тѣло* FG, т. е. двояко-выпуклое прозрачное тѣло, котораго задняя кривизна сильнѣе передней. Пространство между роговою оболочкою и кристалловиднымъ тѣломъ FG наполнено жидкостію, которая называется *водяною влагою*; пространство FMG за кристалловиднымъ тѣломъ FG наполнено студенистою матеріею, такъ называемою *стекловидною влагою*. Наконецъ по внутренней поверхности сосудистой кожицы, именно на черномъ пигментѣ, про-

стирается такъ называемая *сѣтка*, которая собственно есть развѣтвенный оптическій нервъ MN. Слѣд. глазъ раздѣляется кристалловиднымъ тѣломъ, и кольцемъ, къ которому оно прикрѣплено, на два отдѣльныя вмѣстилища, изъ которыхъ одно наполнено водяною, а другое стекловидною влагами. Когда свѣтъ падаетъ на средину роговой кожицы, то онъ проходитъ чрезъ нее, чрезъ водяную влагу, чрезъ зрачекъ, чрезъ кристалловидное тѣло, чрезъ стекловидную влагу, потому что всѣ эти средины прозрачны, распространяется до сѣтки и такъ какъ эта послѣдняя есть продолженіе зрительнаго нерва, то на ней производится ощущеніе, сообщающееся черезъ нервъ MN мозгу.

Теперь представимъ себѣ какой нибудь предметъ находящійся предъ глазомъ, прежде всего въ такомъ большомъ разстояніи, что лучи, выходящіе изъ каждой точки предмета, падающіе на роговую оболочку и проникающіе во внутренность глаза, можно принять за параллельные. Пусть AB будетъ этотъ предметъ (фиг. 220), DE роговая кожица глаза, C точка, которая называется *оптическимъ центромъ* глаза и которая находится позади кристалловиднаго тѣла. Онъ такъ близко лежитъ къ центру роговой кожицы, что лучи проведенные изъ A и B чрезъ C идутъ далѣе безъ преломленія, потому что они падаютъ перпендикулярно къ кривизнѣ роговой кожицы. Слѣд. если изъ A и B проведемъ линіи чрезъ C, то *a* и *b* будутъ тѣ точки, гдѣ эти лучи упадутъ на сѣтку глаза. Остальные лучи, выходящіе изъ A и падающіе на DE, по причинѣ большаго отдаленія предмета, могутъ быть приняты за параллельные; они прежде всего отъ дѣйствія выпуклой поверхности роговой кожицы и потомъ отъ дѣйствія кристалловиднаго тѣла, котораго показатель преломленія больше,

нежели въ другихъ окружающихъ его срединахъ, дѣлаются сходящимися и притомъ въ нармальномъ глазѣ такъ, что точка соединенія параллельныхъ лучей или главный фокусъ ихъ прямо падаетъ на сѣтку. Такимъ же образомъ соединяются лучи параллельно идущіе изъ B, всѣ въ точкѣ *b*, слѣд. на сѣткѣ составится изображеніе *ab*, которое совершенно подобно предмету AB по виду, только меньше его и въ обратномъ положеніи.

Итакъ посредствомъ сѣтки мы ощущаемъ каждую точку предмета опять какъ точку, подобнымъ образомъ, какъ напр. въ темнотѣ мы можемъ составить себѣ понятіе о фигурѣ какого нибудь предмета посредствомъ осязанія пальцами съ тою только разностію, что посредствомъ глаза мы осязаемъ, такъ сказать, не самый предметъ, но изображеніе совершенно ему подобное. Если чрезъ точку C въ глазъ и чрезъ средину роговой оболочки проведемъ прямую линію, то она называется *оптическою осью* глаза. Опытъ показываетъ, что тамъ гдѣ эта ось пересѣкаетъ сѣтку, находится пространство, въ которомъ мы лучше всего ощущаемъ посредствомъ сѣтки и яснѣе различаемъ изображеніе предметовъ; по этому мы всегда направляемъ глазъ такъ, что ось его падаетъ на тотъ предметъ, который мы хотимъ видѣть яснѣе.

§ 170.

Изъ теоріи выпуклыхъ стеколъ (§ 156) мы знаемъ, что если предметъ безконечно отдаленный приближается къ стеклу, то изображеніе его на другой сторонѣ, начиная отъ главнаго фокуса отдалется отъ стекла, но гораздо меньше, нежели на сколько приближается предметъ, такъ что движенію предмета изъ безконечно большаго отдало-

нія до двойнаго главнаго фокуснаго разстоянія, соотвѣтствуетъ движеніе изображенія отъ простаго до двойнаго главнаго фокуснаго разстоянія. Итакъ если предмемъ АВ мало по малу будетъ приближаться къ глазу, то изображеніе *ab* наконецъ не упадетъ на сѣтку, но позади ея и на ней каждою точкою изображенія производится впечатлѣніе не точки, но маленькаго круга, образуемаго пересѣченіемъ конуса преломленныхъ лучей съ сѣткою, который кругъ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ дальше за сѣткою падаетъ изображеніе. Если же каждая точка предмета произведетъ на сѣткѣ ощущеніе круга, то ощущеніе одной точки смѣшается съ ощущеніемъ другой и отъ этого должна произойти неясность зрѣнія. Поэтому нормальный глазъ только при извѣстномъ отдаленіи предмета, т. е. при безконечно большемъ разстояніи его, долженъ былъ бы ясно видѣть, если бы онъ не имѣлъ способности помогать этому недостатку. Что глазъ дѣйствительно имѣетъ эту способность слѣдуетъ изъ того, что нормальный глазъ еще ясно видитъ и тогда, когда предметъ приближается къ нему до 9 дюймовъ. Эта способность глаза измѣняться соразмѣрно разстояніямъ предмета, называется *способностію приспособляться*, но причина этому до сихъ поръ еще не извѣстна. Нѣкоторые думаютъ, что она состоитъ въ томъ, что мы посредствомъ мускуловъ, которыми глазъ приводится въ движеніе, можемъ сдавить его, такъ что сѣтка будетъ далѣе отстоять отъ роговой оболочки, нежели въ нормальномъ ея положеніи и по этому конусы лучей, соединявшихся далѣе отъ сѣтки, опять будутъ имѣть вершину свою на сѣткѣ. Но для этого продольный діаметръ глаза долженъ бы измѣняться на $^1/_3$, чего нельзя допустить. Иные думаютъ, что способность приспособляться должно искать въ кристалловидномъ тѣлѣ. Именно предполагаютъ, что оно или перемѣняетъ свою форму или передвигается съ одного мѣста на другое, смотря по отдаленію предмета, или наконецъ, такъ какъ преломляющая сила кристалловиднаго тѣла къ краямъ сильнѣе, нежели на срединѣ, что мы видимъ отдаленные предметы посредствомъ краевъ его, расширяя зрачекъ, а близкіе посредствомъ средины, съужая его. Легко можетъ быть, что глазъ употребляетъ всѣ или нѣкоторыя изъ этихъ средствъ вмѣстѣ.

Какая бы причина ни была способности приспособляться, мы знаемъ однако, что она для нормальнаго глаза не простирается ближе 9 дюймовъ, такъ что 9 дюймовъ есть *наименьшій* предѣлъ, при которомъ ясное зрѣніе возможно. Но есть много глазъ, для которыхъ предметы могутъ находиться въ ближайшемъ разстояніи и при всемъ томъ эти глаза еще видятъ ясно. У особъ, имѣющихъ такіе глаза, роговая кожица или кристалловидное тѣло слишкомъ выпуклы и они называются *близорукими*. Большая выпуклость производитъ то, что для отдаленныхъ предметовъ, которыхъ лучи можно принимать за параллельные, слѣд. для большей части предметовъ окружающихъ насъ, изображенія такъ далеко отстаютъ отъ сѣтки въ сторону кристалловиднаго тѣла, что лучи падаютъ на сѣтку только тогда, когда они послѣ соединенія опять разойдутся (фиг. 221). Слѣд. близорукія особы могутъ хорошо видѣть только ближайшіе предметы, для отдаленныхъ же глаза ихъ слишкомъ выпуклы.

Напротивъ есть глаза, обыкновенно у старыхъ людей, въ которыхъ способность приспособляться такъ ослаблена, что предѣлъ яснаго зрѣнія простирается не до 9 дюймовъ но напр. только до 15. По этому они ясно видятъ отдаленные предметы, ближайшіе же только тогда, когда они находятся въ разстояніи не меньше 15 дюймовъ. Такіе глаза называются *дальновидными*.

§ 171.

Мы изложили обстоятельства, имѣющія вліяніе на ясное зрѣніе, при которыхъ лучи, выходящіе изъ одной точки, опять должны соединяться на сѣткѣ въ одну точку, т. е. при которыхъ изображенія предметовъ на сѣткѣ бываютъ ясны. Теперь мы будемъ опредѣлять, отъ чего зависитъ величина этихъ изображеній. Представимъ себѣ предметъ AB (фиг. 222), отъ котораго нормальный глазъ находится въ разстояніи напр. 18 дюймовъ. Если проведемъ AC и BC и продолжимъ ихъ до a и b, то по предъидущему получимъ ясное изображеніе ba на сѣткѣ. Если подвинемъ AB къ A'B' на половину прежняго разстоянія т. е. на 9 дюймовъ, то мы получимъ, проводя линіи A'C и B'C и продолжая ихъ до a' и b', изображеніе $a'b'$, которое мы также будемъ видѣть еще ясно, потому что разстояніе не меньше 9 дюймовъ. Но во второмъ случаѣ $a'b'$ будетъ больше ab, по этому большая часть сѣтки будетъ покрыта изображеніемъ и слѣд. большее число нервныхъ частицъ получутъ впечатлѣніе; отъ этого ощущеніе будетъ сильнѣе и слѣд. мы видимъ тѣмъ лучше, чѣмъ больше изображеніе на сѣткѣ; но такъ какъ $ab : a'b' = aCb : a'Cb'$ и $aCb : a'Cb' = ACB : A'CB'$, то величины изображенія могутъ быть опредѣлены углами ACB и A'CB', которые составляются линіями, проведенными отъ крайнихъ точекъ предмета къ центру глаза, и которые называются *углами зрѣнія*. Слѣд. предметъ можно видѣть тѣмъ лучше, чѣмъ больше уголъ зрѣнія. Но такъ какъ предметъ долженъ быть видимъ вмѣстѣ и ясно, то лучшее видѣніе для нормальнаго глаза будетъ при 9 дюймахъ; здѣсь уголъ зрѣнія достигаетъ наибольшей величины и ясность все еще не уменьшается. По этой то причинѣ мы подвигаемъ предметъ къ глазамъ на это разстояніе, если мы хотимъ видѣть лучшимъ образомъ, напр. въ этомъ отдаленіи мы держимъ книгу, когда читаемъ ее. По этому для нормальнаго глаза 9 дюймовъ называется *разстояніемъ лучшаго видѣнія*.

Для близорукихъ мы можемъ подвинуть къ глазамъ предметъ на разстояніе гораздо меньшее, напримѣръ на $4^1/_2$ дюйма и при всемъ томъ ясность изображенія не теряется. Такъ какъ уголъ зрѣнія въ этомъ случаѣ почти равенъ двойному углу зрѣнія нормальнаго глаза, то близорукій получаетъ изображеніе на сѣткѣ, которое въ одномъ измѣреніи своемъ дѣлается вдвое больше или производитъ впечатлѣніе на число нервныхъ частицъ вчетверо большее, нежели въ нормальномъ глазѣ. Слѣд. такіе глаза вблизи будутъ видѣть яснѣе, нежели нормальные глаза, и по этому они могутъ напр. читать шрифтъ гораздо мельчайшій; но за то они не имѣютъ выгоды видѣть ясно въ нѣкоторомъ отдаленіи. Напротивъ для дальновидныхъ глазъ должно отодвигать предметы дальше, слѣд. на сѣткѣ получаются меньшія изображенія и зрѣніе не такъ бываетъ хорошо, какъ въ нормальномъ глазѣ; по этому такіе глаза съ трудомъ могутъ читать мелкій шрифтъ.

§ 172.

Рѣшимъ нѣкоторые вопросы касательно зрѣнія, которые представляются сами собою. Сюда напр. принадлежитъ вопросъ, *почему мы видимъ предметы въ прямомъ положеніи тогда, какъ изображенія на сѣткѣ представляются въ обратномъ*. Причину этого мы должы искать въ привычкѣ. Когда новорожденный младенецъ начинаетъ ощущать на сѣткѣ изображеніе предмета, то мы должны себѣ представить, что онъ имѣетъ только одно

ощущеніе, не зная, что ему соотвѣтствуетъ внѣшній предметъ; онъ узнаетъ это мало по малу только чрезъ осязаніе; но тогда это осязаніе уже показываетъ ему, что причину впечатлѣнія, ощущаемаго нижнею частію сѣтки, должно искать вверху, а причину впечатлѣнія ощущаемаго верхнею частію внизу, причину впечатлѣнія ощущаемаго правою стороною нужно искать въ лѣвой сторонѣ, причину лѣваго ощущенія въ правой сторонѣ предмета.

Такимъ образомъ мало по малу составляется отношеніе той точки, гдѣ производится ощущеніе, къ причинѣ этого ощущенія. Это отношеніе состоитъ въ томъ, что направленіе зрѣнія есть прямая линія, соединяющая точки ощущенія на сѣткѣ съ центромъ глаза. Итакъ если C есть центръ глаза, то мы перемѣщаемъ точку предмета, который производитъ впечатлѣніе въ b (фиг. 222), въ направленіи bCB, также точку производящую ощущеніе въ a перемѣщаемъ въ направленіе aCA и. т. д. Доказательство того, что глазъ дѣйствительно этимъ способомъ опредѣляетъ направленіе видимаго предмета, состоитъ въ томъ, что если производимъ впечатлѣніе на сѣтку придавляя пальцемъ глазъ со внѣшняго конца его, то сѣтка замѣчаетъ это впечатлѣніе какъ свѣтлое пятно и то на противной сторонѣ къ носу.

Почему двумя глазами мы видимъ не двойные предметы? Также па это мы должны смотрѣть какъ на слѣдствіе привычки. Мы уже видѣли, что для яснаго зрѣнія мы должны направить глазъ такъ, чтобы изображеніе лежало на главной оси и мы тогда знаемъ изъ опыта, что если изображенія падаютъ въ одномъ глазѣ на тѣ среднія части сѣтки, которыя соотвѣтствуютъ среднимъ частямъ въ другомъ, то они производятся только однимъ предметомъ. Подобное явленіе имѣетъ мѣсто и въ другихъ ощущені-

яхъ. Если закрывши глаза положимъ два пальца одинъ
подлѣ другаго на шарикъ, то мы знаемъ по привычкѣ эта-
го ощущенія, что здѣсь будетъ одинъ и тотъ же шарикъ,
до котораго мы касаемся въ двухъ мѣстахъ. Если же по-
ложимъ оба пальца крестъ на крестъ одинъ на дру-
гой и такимъ образомъ касаемся къ шарику, то ша-
рикъ покажется намъ двойнымъ, потому что тѣ части
пальцевъ, которыя теперь прикасаются къ шарику въ
двухъ мѣстахъ, при обыкновенномъ положеніи пальцевъ,
могутъ прикасаться такимъ образомъ только къ двумъ
шарикамъ, лежащимъ одинъ подлѣ другаго. Тоже самое
бываетъ и съ глазами; если оба они направлены на одинъ
предметъ, такъ чтобы изображеніе его въ одномъ глазѣ
падало на часть сѣтки соотвѣтствующую изображенію дру-
гаго глаза, то намъ кажется, что мы видимъ одинъ только
предметъ. Если же выведемъ одинъ глазъ изъ этого на-
правленія, если напр. придавимъ его пальцемъ, то намъ тот-
часъ кажется, что мы видимъ два предмета, потому что
теперь изображенія падаютъ на два мѣста сѣтки, которыя
мы по обыкновенію считаемъ за не соотвѣтсвующія.

*Какимъ образомъ мы судимъ о разстояніи и о величинѣ
предмета?* Чтобы составить себѣ понятіе о разстояніи
какого нибудь предмета, мы должны употреблять нѣкото-
рыя постороннія пособія. Если предметъ находится близ-
ко, то усиліе, которое мы должны сдѣлать, чтобъ главныя
оси обоихъ глазъ въ одно время направить на предметъ,
даетъ намъ средство опредѣлить разстояніе его; именно
если предметъ находится ближе въ C (фиг. 223), то уголъ
ACB сдѣлается больше, если же предметъ будетъ дальше
въ C′, то уголъ AC′B будетъ меньше; въ первомъ случаѣ уси-
ліе мускуловъ больше, во второмъ меньше. Это доказывает-
ся напр. трудностію продѣть, когда закроемъ одинъ глазъ,

нитку въ ушко иголки, между тѣмъ, какъ мы можемъ это легко сдѣлать, если оба глаза направлены на нитку. Если же разстояніе предмета значительно, то уголъ АСВ будетъ такъ малъ, что разность этихъ угловъ для различныхъ отдаленій можетъ быть принята за 0. Тогда мы опредѣляемъ разстояніе предмета однимъ глазомъ также хорошо, какъ и двумя. Если въ этомъ случаѣ мы знаемъ величину предмета, если напр. мы видимъ человѣка въ нѣкоторомъ отдаленіи, то мы судимъ о разстояніи по углу зрѣнія или, что по предъидущему все равно, по поверхности, которую занимаетъ его изображеніе на сѣткѣ; натурально эта поверхность будетъ тѣмъ больше, чѣмъ ближе находится человѣкъ отъ глаза наблюдателя. Но если величина предмета не извѣстна, то намъ остается только одно средство опредѣлять разстояніе его мало по малу по предметамъ, лежащимъ между нами и тѣмъ предметомъ, котораго разстояніе хотимъ узнать. Если такихъ предметовъ нѣтъ, то мы теряемъ всякую возможность опредѣлить разстояніе. По этому всѣ небесныя тѣла: солнце, луна и звѣзды, кажутся находящимися на тверди небесной въ одномъ и томъ же отдаленіи; по этому же и башня, видимая за крышею какого нибудь дома, кажется близко находящеюся отъ него, если она и въ самомъ дѣлѣ значительно отдалена; отъ этаго наконецъ мы легко ошибаемся въ опредѣленіи разстоянія пламени во время темной ночи.

Видимая величина предмета зависитъ отъ его разстоянія; уголъ, подъ которымъ мы видимъ предметъ, узнается нами по протяженію, которое занимается изображеніемъ на части сѣтки, получившей впечатлѣніе; слѣд. если мы можемъ приблизительно опредѣлить разстояніе, то мы знаемъ по опыту, что такой то величинѣ изображенія соотвѣтствуетъ такая то величина предмета. Если же мы

не имѣемъ средства оцѣнить разстоянія, то мы теряемъ и понятіе о величинѣ видимыхъ предметовъ. Солнце и луна кажутся намъ одинаковыми по величинѣ, потому что оба они имѣютъ уголъ зрѣнія около 30 минутъ, хотя истинный діаметръ солнца въ 450 разъ больше діаметра луны.

Изъ этого объясняется одно замѣчательное, но для насъ такъ обыкновенное явленіе, что мы едва обращаемъ наше вниманіе на него. Именно когда солнце или луна восходятъ, то они кажутся намъ гораздо большими нежели на значительной высотѣ надъ горизонтомъ. Если измѣримъ уголъ зрѣнія посредствомъ астрономическаго инструмента, то найдемъ, что онъ равенъ въ томъ и другомъ случаѣ; слѣд. здѣсь имѣетъ мѣсто оптической обманъ, отъ котораго впрочемъ мы не можемъ освободиться, хотя и достовѣрно знаемъ, что мы подвержены ему. Это явленіе объясняется тѣмъ, что для насъ луна или солнце кажутся отстоящими отъ насъ дальше въ направленіи горизонта, нежели къ зениту, и это частью потому что во первыхъ вдоль горизонта мы видимъ множество предметовъ, по которымъ мы судимъ о большемъ растояніи этихъ небесныхъ тѣлъ, но частью и потому, что небо намъ чище кажется къ зениту, нежели къ горизонту и мы считаемъ тѣ предметы дальше, которые темнѣе. Если же луна кажется намъ далѣе, когда она бываетъ въ горизонтѣ, и если при всемъ томъ мы видимъ ее подъ однимъ и тѣмъ же угломъ, то мы изъ этого необходимо должны заключить, что она въ этомъ случаѣ больше нежели въ зенитѣ; то же самое должно имѣть мѣсто и для солнца. Изъ этого также видно, что небо должно казаться имѣющимъ видъ не полушарія, но плоскаго свода и что градусъ на горизонтѣ долженъ казаться больше, нежели въ зенитѣ. Слѣдствіе этого есть то, что звѣз-

ды кажутся намъ стоящими выше надъ горизонтомъ нежели какъ онѣ находятся въ самомъ дѣлѣ, и кому это неизвѣстно, тотъ будетъ считать звѣзду на высотѣ 45°, между тѣмъ какъ истинная высота ея равна можетъ быть только 25°.

Наконецъ мы упомянемъ еще объ одномъ свойствѣ глаза, которое состоитъ въ томъ, что не всѣ части сѣтки чувствуютъ впечатленіе свѣта, но что на ней именно въ томъ мѣстѣ, гдѣ нервъ входитъ въ глазъ, находится точка которая совершенно не видитъ. Въ этомъ можно удостовѣриться слѣдующимъ замѣчательнымъ опытомъ: положимъ три маленькія бѣлыя облатки A, B, C, на одной линіи, которая параллельна линіи, соединяющей оба глаза, и отстоящія одна отъ другой около 3 дюймовъ; если потомъ закрывши лѣвый глазъ, направимъ правый, находящійся въ O (фиг. 224), на лѣвую облатку A, и потомъ не сводя его съ ней станемъ мало по малу поднимать голову, то дойдемъ до такой высоты, на которой облатка B будетъ не видима, между тѣмъ, какъ C остается видимою. Въ это мгновеніе изображеніе облатки B прямо падаетъ на нечувствительное мѣсто глаза или на такъ называемое punctum coecum.

§ 173.

Если на бѣлую бумагу положимъ облатку ярко-краснаго цвѣта, и станетъ пристально смотрѣть на нее или лучше на какой нибудь знакъ сдѣланный въ срединѣ ея, потомъ вдругъ обратимъ глазъ на бѣлую бумагу, то мы увидимъ на ней синевато-зеленое круглое изображеніе, которое мало по малу дѣлается слабѣе и послѣ нѣкотораго времени совершенно изчезаетъ. Подобнымъ образомъ желтая облатка даетъ изображеніе индиговаго цвѣта, индиговою облаткою производится желтое изображеніе, чернымъ пятномъ бѣлое изображеніе; эти изображенія называются *субъективными изображеніями*. Еслибы цвѣты облатки и субъективнаго изображенія были одинаково ярки, то цвѣтъ послѣдняго былъ бы дополнительнымъ цвѣтомъ перваго т. е. оба вмѣстѣ составили бы бѣлый свѣтъ. По этому субъективное изображеніе чернаго цвѣта есть бѣлый свѣтъ и наоборотъ.

Изъ этого не трудно объяснить себѣ происхожденіе сего явленія. Если будемъ смотрѣть на облатку какого нибудь яркаго цвѣта, лежащую на бѣломъ полѣ, то мѣсто на сѣткѣ, на которое падаетъ изображеніе облатки, будетъ ощущать всѣ призматическіе цвѣты, которые отражаются отъ облатки, напротивъ другіе находящіеся въ бѣломъ свѣтѣ цвѣты не произведутъ въ этомъ мѣстѣ сѣтки никакого впечатленія. По этому послѣ нѣкотораго времени это мѣсто притупляется для ощущенія находящихся въ изображеніи цвѣтовъ, какъ это имѣетъ мѣсто во всѣхъ чувствахъ нашихъ, но сохраняетъ свою чувствительность для остальныхъ, и такъ если вдругъ обратимъ глазъ на бѣлое поле, изъ котораго входятъ въ него всѣ цвѣтные лучи вмѣстѣ, то впечатленіе прежде не существовавшихъ въ этой точкѣ сѣтки лучей будетъ брать перевѣсъ надъ прочими и намъ кажется, что мы видимъ пятно окрашенное этими дополнительными цвѣтами.

Но есть еще другое явленіе этихъ, такъ называемыхъ *случайныхъ цвѣтовъ*, которое труднѣе объяснить. Если напр. тѣнь палочки отъ двухъ свѣчей примемъ на бѣлую плоскость и свѣтъ одной свѣчи пропустимъ чрезъ красное стекло, потомъ подвигая назадъ другую свѣчу сдѣлаемъ обѣ тѣни на плоскости одинаково темными, то одна тѣнь натурально будетъ казаться красною, но замѣча-

тельно то, что другая тогда принимаетъ дополнительный цвѣтъ именно зеленый. Это явленіе извѣстно подъ именемъ явленія *окрашенныхъ тѣней.* Этого нельзя объяснить предъидущимъ способомъ, потому что здѣсь оба изображенія падаютъ на различныя части сѣтки и мы должны предполагать, что когда сѣтка въ одномъ мѣстѣ принимаетъ сильное впечатлѣніе отъ какого нибудь цвѣта, то другія части ея отъ этого располагаются къ яснѣйшему зрѣнію дополнительныхъ цвѣтовъ, такъ что та часть сѣтки, на которую падаетъ изображеніе неокрашенной тѣни и которая по этому менѣе получаетъ впечатлѣній, будетъ казаться окрашенною дополнительнымъ цвѣтомъ.

Другое явленіе субъективныхъ цвѣтовъ, которое еще труднѣе объяснить, замѣчается тогда, когда мы подвергаемъ глазъ сильнымъ впечатлѣніямъ, напр. когда смотримъ на солнце или какое нибудь ярко свѣтящееся тѣло: тогда изображеніе солнца и послѣ долго остается въ глазахъ, и принимаетъ различные цвѣты смѣняющіеся одинъ за другимъ.

Вообще мы чувствуемъ каждое впечатлѣніе на сѣткѣ, отъ какой бы причины оно не происходило, какъ свѣтъ; отъ этого при сильномъ ударѣ въ глазъ изъ него кажется сыплются искры.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

ОБЪ ОПТИЧЕСКИХЪ ИНСТРУМЕНТАХЪ.

А. О простомъ микроскопѣ.

§ 174.

Простой микроскопъ есть выпуклое стекло съ короткимъ фокуснымъ разтояніемъ, которое держутъ у самаго глаза, и сквозь которое смотрятъ на предметъ находящійся въ фокусѣ стекла. Отъ этого предметъ кажется увеличеннымъ.

Пусть DE (фиг. 225) будетъ стекло выпуклое, C центръ его, AB предметъ, лежащій въ главномъ фокусѣ стекла, G центръ глаза. Если чрезъ центръ стекла проведемъ изъ A лучь AC, то онъ, какъ извѣстно, пойдетъ далѣе не преломляясь; другіе же лучи AD и AE послѣ преломленія сдѣлаются параллельными лучу AC. Одинъ изъ этихъ параллельныхъ лучей пройдетъ безъ преломленіи чрезъ центръ глаза G и пересѣчетъ сѣтку въ A′, остальные же въ нормальномъ глазѣ соединяются также въ A′ и такимъ образомъ мы получимъ на сѣткѣ въ точкѣ A′ изображеніе точки A. Подобнымъ образомъ всѣ лучи, выходящіе изъ B послѣ преломленія сдѣлаются параллельными лучу BC; одинъ изъ нихъ, безъ преломленія пройдетъ чрезъ G, а слѣд. вмѣстѣ съ другими произведетъ изображеніе свое въ B′, такъ что A′B′ будетъ изображеніе всего предмета въ глазѣ; уголъ зрѣнія будетъ A′GB′, который по параллельности лучей $=$ ACB. Безъ стекла предметъ долженъ бы быть подвинутъ къ глазу на нормальное разстояніе 9 дюймовъ для того, чтобъ какъ можно яснѣе видѣть его. Если предположимъ что тангенсы пропорціональны угламъ (а это для малыхъ угловъ, каковые бываютъ углы зрѣнія, всегда справедливо), то слѣд. уголъ зрѣнія безъ стекла можетъ быть выраженъ чрезъ $\frac{AB}{9''}$; а со стекломъ онъ будетъ $\frac{AB}{F}$, если F означаетъ главное фокусное разстояніе стекла. Но изображеніе въ глазѣ будетъ въ такомъ же отношеніи больше въ какомъ и углы зрѣнія, слѣд. увеличеніе произведенное стекломъ будетъ во столько разъ больше, во сколько

$\frac{AB}{F}$ больше $\frac{AB}{9''}$ или увеличенiе (которое мы означаемъ чрезъ W) будетъ: $W = \frac{9}{F}$

гдѣ F также должно быть выражено въ дюймахъ. Еслибъ F было равно 9″, то увеличенiе было бы 1, т. е. предметъ казался бы въ своей натуральной величинѣ. Если $F > 9''$, то изображенiе былобъ меньше, еслиже $F < 9''$, то очевидно, что такое выпуклое стекло будетъ увеличивать. Если бы напр. фокусное разстоянiе стекла $F = \frac{1}{2}$ дюйма, то такое стекло увеличивалобъ въ 18 разъ; еслибы F равно $\frac{1}{10}$ дюйма или одной линiи, то увеличенiе было бы въ 90 разъ. Но чѣмъ больше бываетъ увеличенiе, т. е. чѣмъ больше бываетъ изображенiе въ глазѣ, тѣмъ по большей поверхности распространяется свѣтъ, падающiй отъ предмета на нашъ глазъ, и тѣмъ больше оно будетъ *ослаблено*. Такъ какъ мы всегда должны держать предметъ въ фокусѣ стекла, то это разстоянiе, если $F = \frac{1}{10}$ дюйма, тоже должно быть $\frac{1''}{10}$, при чемъ предметъ будетъ заслоненъ отъ свѣта головою самаго наблюдателя. Это уже одно полагаетъ предѣлъ увеличенiю посредствомъ простыхъ стеколъ, которое впрочемъ моглобъ простираться до безконечности. Другой предѣлъ для нихъ назначается сферическою аберрацiею, которая бываетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ короче фокусное разстоянiе стекла, потому что при этомъ и отношенiе отверстiя къ фокусному разстоянiю его увеличивается. По предъидущему влiянiе сферической аберрацiи можно уменьшить употребляя плоско-выпуклое стекло, обращенное выпуклою стороною къ глазу, ибо на этой сторонѣ находятся параллельные лучи (§ 160. 4.), но совершенно можно уничтожить сферическую и хроматическую аберрацiи, если употребить два стекла непосредственно одно подлѣ другаго и дать имъ надлежащую кривизну. Микроскопъ такого рода, который впрочемъ дѣйствуетъ совершенно какъ одно выпуклое стекло, называется *двойнымъ стекломъ*. Чтобъ при одинаковомъ фокусномъ разстоянiи уменьшить кривизну стекла и чрезъ это ослабить также и аберрацiю, шлифуютъ стекла изъ сильно преломляющихъ срединъ, напр. изъ алмаза, яхонта, сафира и пр. которыя и въ самомъ дѣлѣ дѣйствуютъ весьма хорошо.

Изъ предъидущаго видно, что дѣйствiе простаго микроскопа собственно состоитъ въ томъ, что онъ позволяетъ глазу еще болѣе приближать предметы, оставляя лучи ихъ параллельными; черезъ это увеличивается уголъ зрѣнiя не теряя ясности, что бываетъ, когда предметъ приближается къ невооруженному глазу.

B. Объ очкахъ.

§ 175.

Мы видѣли, что нормальный глазъ видитъ ясно при параллельномъ паденiи лучей, но что можно и приблизить къ нему предметъ до 9 дюймовъ, не уничтожая ясности изображенiя. У близорукаго глаза бываютъ выпуклѣе, такъ что они соединяютъ параллельные лучи уже передъ сѣткою и по этому не ясно видятъ изображенiе отдаленныхъ предметовъ. Очевидно что этому недостатку можно помочь, если предъ глазами поставить стекла вогнутыя такой кривизны, что параллельные лучи дѣлаются такъ сильно расходящимися, что они соединяются ровно на сѣткѣ такого глаза. По этому близорукiе должны носить *вогнутые очки*.

Оптики обыкновенно ставятъ на нихъ номера опредѣленные по радіусамъ кривизны, начиная съ наибольшей кривизны почти до плоскаго стекла; но эти номера у разныхъ оптиковъ бываютъ не равны, такъ что, если такой то номеръ у одного оптика годится для нашего глаза, то легко можетъ случиться, что онъ у другаго оптика будетъ совершенно другой.

Дальновидные глаза напротивъ могутъ хорошо видѣть предметы отдаленные, но за то они не видятъ, когда предметы подвигаются ближе и слѣд. не дают лучамъ въ болѣе расходящемся направленіи соединяться на сѣткѣ. Мы видѣли, что недостатокъ такихъ глазъ заключается въ малой выпуклости; по этому дальновидный глазъ для малыхъ разстояній, напр. при чтеніи, долженъ употреблять *выпуклыя очки*.

§ 176.

Мы видѣли, что дабы яснѣе видѣть малые предметы, мы употребляемъ простой микроскопъ т. е. стекло выпуклое съ короткимъ фокуснымъ разстояніемъ и въ фокусѣ его ставимъ разсматриваемый предметъ. Если же мы хотимъ ясно видѣть отдаленные предметы, то мы не можемъ этого дѣлать посредствомъ простаго микроскопа, потому что не въ нашей волѣ придвинуть предметъ къ фокусу его. Въ этомъ случаѣ по причинѣ большаго разстоянія предмета мы всегда должны предполагать, что выходящіе изъ одной точки лучи параллельны другъ другу. Но мы можемъ получить *оптическія изображенія* этихъ отдаленныхъ предметовъ, какъ мы уже видѣли, которыя во всѣхъ частяхъ подобны имъ, и эти изображенія увеличить

по произволу посредствомъ простаго микроскопа. Такимъ образомъ дѣйствуютъ всѣ телескопы, кромѣ одного Галилеева, о которомъ мы послѣ будемъ говорить. Но такъ какъ изображенія предметовъ можно получить или посредствомъ *выпуклыхъ стеколъ*, или посредствомъ *вогнутыхъ зеркалъ*, то и телескоповъ мы имѣемъ два рода, *діоптрическіе* и *катоптрическіе*.

C. Діоптрическіе телескопы.

1. *Астрономическій телескопъ*.

§ 177.

Простой астрономическій телескопъ построенъ *Кеплеромъ*; по этому онъ и называется *кеплеровымъ телескопомъ* (фиг. 226). Въ немъ AB представляетъ выпуклое стекло — *предметное* — посредствомъ котораго изображеніе M′N′ отдаленнаго предмета, отъ верхней точки котораго падаютъ на стекло параллельные лучи MA, MC, MB и отъ нижней параллельные лучи NA, NC, NB, образуется въ разстояніи главнаго фокуса. Здѣсь изъ точекъ M′ и N′ лучи снова расходятся и падаютъ на второе выпуклое стекло — *глазное* — FG, которое отстоитъ отъ изображенія M′N′ на главное фокусное растояніе f (такъ что $KC' = f$). Если проведемъ линіи M′C′ и N′C′ черезъ центръ C′ стекла, то лучи выходящіе изъ M′ послѣ преломленія въ стеклѣ FG пойдутъ параллельно другъ другу и также лучу M′C′; подобнымъ образомъ лучи выходящіе изъ N′ послѣ преломленія будутъ параллельны лучу N′C′.

Итакъ если въ O находится нормальный глазъ, то на сѣткѣ его представится явственно ограниченное изобра-

женіе mn и слѣд. онъ увидитъ предметъ въ положеніи M′N′, т. е. въ обратномъ положеніи. Лучше всего помѣщать глазъ въ O, точкѣ пересѣченія идущихъ изъ разныхъ точекъ изображенія параллельныхъ лучей, потому что здѣсь упадетъ на него наибольшее число лучей. Этотъ телескопъ очевидно представляетъ предметы въ обратномъ видѣ; для астрономической цѣли, гдѣ небесныя тѣла представляются круглыми или почти точками, это все равно: но предметы на землѣ находящіеся не удобно видѣть превращенными. По этой причинѣ такой телескопъ употребляется только для астрономической цѣли, почему онъ и называется *астрономическимъ*. Предметное стекло такого телескопа для полученія ясныхъ изображеній дѣлается ахроматическимъ и апланатическимъ, какъ мы уже это показали; но для глазнаго обыкновенно берутъ простое стекло, имѣющее только, какъ можно меньшую сферическую аберрацію, ибо вліяніе хроматизма здѣсь не значительно.

Если желаемъ опредѣлить увеличеніе такого телескопа, то мы должны сравнить уголъ зрѣнія mOn, подъ которымъ видимъ предметъ посредствомъ телескопа, съ тѣмъ угломъ зрѣнія, подъ которымъ видимъ тотже предметъ не вооруженнымъ глазомъ. Для перваго можемъ взять M′C′N′, для послѣдняго MCN, потому что все равно, поставимъ ли глазъ въ O или въ C, если предположимъ, что предметъ находится въ весьма большомъ разстояніи. Но MCN = M′CN′; итакъ для опредѣленія увеличенія мы должны только опредѣлить во сколько разъ M′C′N′ больше M′CN′. Означимъ увеличеніе чрезъ W, и мы получимъ:

$$W = \frac{M'C'N'}{M'CN'}$$

Такъ какъ эти углы всегда малы, то можно вмѣсто ихъ

взять тангенсы и поелику $tg\,(M'C'N') = \frac{M'N'}{f}$ и $tg(M'CN') = \frac{M'N'}{F}$, то мы получимъ:

$$W = \frac{F}{f}.$$

т. е. *увеличеніе астрономическаго телескопа равно отношенію фокуснаго разстоянія предметнаго стекла къ фокусному разстоянію глазнаго.*

Итакъ увеличеніе можно усилить двумя способами, или увеличивая фокусное разстояніе предметнаго или уменьшая фокусное разстояніе глазнаго стекла. При первомъ способѣ вмѣстѣ увеличивается длина телескопа и въ подобномъ же отношеніи должна возрасти и величина стекла для того, чтобы изображеніе M′N′, сдѣлавшись большимъ, не сдѣлалось темнѣе. Отъ увеличенія длины трубы, она дѣлается не удобною для употребленія; отъ увеличенія діаметра предметнаго стекла, если оно ахроматическое, приготовленіе его дѣлается труднѣе и цѣна трубы увеличивается, особенно трудно приготовить флинтгласъ въ большихъ размѣрахъ. Если уменьшимъ фокусное разстояніе глазнаго, то хотя получимъ большее увеличеніе, но вмѣстѣ съ тѣмъ еще въ большей степени увеличивается вліяніе сферической и хроматической аберраціи, по этому уменьшится ясность изображенія. Такимъ образомъ эти обстоятельства ограничиваютъ увеличиваніе астрономическихъ телескоповъ.

§ 178.

Пусть AB (фиг. 227) представляетъ предметное, FG глазное стекло астрономическаго телескопа; если изъ центра C перваго стекла проведемъ линію чрезъ F и другую

чрезъ G, то MC будетъ самый крайній лучь изъ проходящихъ чрезъ центръ предметнаго и упадающихъ на глазное, между тѣмъ какъ лучь далѣе лежащій M′C, какъ показываетъ фигура, не упадетъ на глазное стекло. Съ другой стороны NC будетъ самый крайній изъ среднихъ лучей падающихъ на глазное. Уголъ $NCM = FCG$, составленный этими крайними лучами, называется *полемъ зрѣнія телескопа*; внутри этого угла предметъ еще виденъ ясно, но внѣ онаго хотя еще на глазное стекло падаютъ нѣкоторые лучи, именно изъ тѣхъ, которые падаютъ на глазное стекло между A и C (напр. M′A въ F), но оныхъ такъ мало находится, что эта точка M′ будетъ видна весьма темно. Но уголъ FCG или поле зрѣнія, которое мы означимъ черезъ G, по причинѣ малости своей можетъ измѣряться тангенсомъ, т. е.

$$G = \frac{FG'}{CC'} = \frac{B.}{F+f},$$

если діаметръ глазнаго означимъ чрезъ B. Итакъ поле зрѣнія въ телескопѣ будетъ больше или другими словами можно посредствомъ его обозрѣвать вдругъ тѣмъ большее пространство, чѣмъ больше будетъ B, т. е. чѣмъ больше діаметръ глазнаго стекла. Но для даннаго фокуснаго разстоянія стекла, мы вмѣстѣ съ увеличеніемъ отверстія всегда увеличиваемъ и сферическую аберрацію, слѣдовательно не ясность изображеній. По этой причинѣ для увеличенія поля зрѣнія, часто въ астрономическихъ телескопахъ употребляютъ *собирательное стекло* A′B′ (фиг. 228), котораго дѣйствіе лучше всего видно на фигурѣ. Именно безъ него лучи соединились бы въ M′N′ и дали бы здѣсь изображеніе предмета; собирательное стекло, также выпуклое, соединяетъ лучи прежде и легко можно видѣть, какимъ образомъ расходящіеся изъ M″ N″ лучи падаютъ на глазное стекло гораздо въ большемъ числѣ, нежели когда бы они выходили изъ M′ и N′; слѣд. поле зрѣнія увели-

чивается. Но вмѣстѣ съ тѣмъ изображеніе ближе подвигается къ предметному, нежели безъ собирательнаго стекла; слѣд. другая выгода его состоитъ въ томъ, что отъ него телескопъ дѣлается короче; по за то не много теряется въ увеличеніи, потому что $M''N'' < M'N'$. Если дано собирательное стекло, то увеличеніе будетъ:

$$W = \frac{FF'}{f(F+F'-D)}$$

гдѣ F' = фокусному разстоянію собирательнаго стекла и D = разстоянію этого стекла отъ предметнаго.

Въ астрономическихъ телескопахъ предметное стекло навинчивается на одномъ концѣ трубы, а на другомъ находится глазное въ особенной трубочкѣ, которую можно передвигать, и тѣмъ глазное можно приблизить къ предметному или отдалить отъ него. Это необходимо для того, что бы телескопъ годился какъ для близорукаго, такъ и для нормальнаго глаза; такъ какъ у близорукихъ глаза соединяютъ параллельные лучи *передъ* сѣткою, то для точнаго соединенія на сѣткѣ они должны падать на глазъ расходящимися и глазное стекло должно быть приближено къ изображенію получаемому отъ предметнаго болѣе, нежели на фокусное разстояніе (§ 156. 5.); и такъ близорукій долженъ вдвинуть трубочку съ глазнымъ стекломъ, что бы получить ясное изображеніе. Если въ телескопѣ находится собирательное стекло, то оно заключено вмѣстѣ съ глазнымъ въ одной трубочкѣ, такъ что ихъ можно передвигать вмѣстѣ. Вообще же собирательное стекло причисляютъ къ глазнымъ стекламъ и говорятъ, что въ телескопѣ находится *предметное стекло* и *сложное глазное*. Это послѣднее нужно различать отъ *двойнаго* глазнаго стекла (§ 157), которое также состоитъ изъ двухъ стеколъ и дѣйствуетъ какъ одно. Эти два глазныя стекла можно отличать другъ отъ друга тѣмъ, что въ *двойномъ* разстояніе обоихъ сте-

коль другъ отъ друга *меньше* фокуснаго разстоянiя обѣихъ стеколъ, а въ *сложномъ* глазномъ стеклѣ *больше*.

2. *Земной телескопъ.*

§ 179.

Такъ какъ для наблюденiя земныхъ предметовъ неудобно видѣть ихъ въ обратномъ положенiи, то старались устранить это неудобство чрезъ прибавленiе двухъ новыхъ стеколъ и такимъ образомъ устроили *подзорную трубу* или *земной телескопъ*. Лучше всего можно разсмотрѣть устройство ея слѣдующимъ образомъ. Если AB и FG (фиг. 229) представляютъ предметное и глазное стекло астрономической трубы, то мы знаемъ, что лучи точекъ M и N послѣ преломленiя выдутъ изъ глазнаго стекла въ направленiяхъ относительно параллельныхъ т. е. точно такъ какъ они отъ предмета упали на предметное стекло; итакъ позади глазнаго стекла мы можемъ поставить другую астрономическую трубу, въ которой A'B' представляетъ предметное, F'G' глазное стекло и мы опять получимъ въ M''N'' т. е. въ фокусномъ разстоянiи стекла A'B' изображенiе, и въ O пересѣкутся всѣ параллельные лучи выходящiе изъ глазнаго стекла F'G'.— Первая труба превращаетъ изображенiе, вторая опять превращаетъ это послѣднее, слѣд. изображенiе M''N'' будетъ казаться въ прямомъ положенiи и тогда посредствомъ простаго микроскопа F'G' мы смотримъ на прямое изображенiе M''N''.

По этому легко опредѣлить увеличенiе такой трубы; въ самомъ дѣлѣ если первая увеличиваетъ напр. въ 10 разъ, а вторая въ 3 раза, то произведенное первою трубою десятикратное увеличенiе будетъ увеличено еще въ 3 раза, слѣд. все увеличенiе будетъ въ 30 разъ больше,

и вообще: увеличенiе равно произведенiю обоихъ отдѣльныхъ увеличенiй. Если фокусное разстоянiе первыхъ двухъ стеколъ (считая отъ предметнаго стекла) означимъ чрезъ F и f, а вторыхъ чрезъ F' и f' то все увеличенiе будетъ:

$$W = \frac{F}{f} \cdot \frac{F'}{f'}.$$

т. е. *что бы получить увеличенiе, надобно умножить между собою фокусныя разстоянiя перваго и третьяго стекла, и фокусныя разстоянiя втораго и четвертаго; первое произведенiе раздѣленное на второе даетъ искомое увеличенiе.*

Обыкновенно и въ этой трубѣ между предметнымъ стекломъ и первымъ изображенiемъ ставятъ собирательное стекло, такъ что она состоитъ изъ 5 стеколъ. Изъ нихъ первое составляетъ предметное стекло и оно дѣлается ахроматическимъ и апланатическимъ чрезъ прибавленiе вогнутаго стекла изъ флинтгласа, 4 другiя неподвижно укрѣплены вмѣстѣ въ одной трубкѣ и составляютъ *сложное глазное стекло*, которое чрезъ различное измѣненiе кривизны дѣлается какъ можно болѣе ахроматическимъ и апланатическимъ, и приближается или отдаляется отъ предметнаго стекла.

3. *Галилеева трубка.*

§ 180.

Эта трубка отличается отъ всѣхъ другихъ тѣмъ, что въ ней нигдѣ не составляется изображенiе предмета, на который мы смотримъ (фиг. 230). Предметное есть ахроматическое выпуклое стекло AB, глазное же вогнутое FG съ малымъ фокуснымъ разстоянiемъ. Главное фокусное разстоянiе для стекла AB есть CK, отрицательное фокусное разстоянiе стекла FG есть C'K, такъ что фокусы обоихъ

стеколъ совпадаютъ. Если бы не было вогнутаго стекла, то мы получили бы изображеніе M'N' въ фокусѣ K; вогнутое стекло сдѣлаетъ сходящіеся въ фокусѣ его лучи параллельными (§ 158), слѣд. лучи вмѣсто того, что бы соединиться въ M' сдѣлаются параллельными лучу M'C' и также лучи точки N' сдѣлаются параллельными лучу N'C'. Итакъ если мы помѣстимъ глазъ въ O подлѣ самаго вогнутаго стекла, то получимъ на сѣткѣ изображеніе, гдѣ M внизу а N вверху находятся, слѣд мы увидимъ M вверху а N внизу, по этому предметъ будетъ видимъ въ прямомъ положеніи. Итакъ эта трубка даетъ прямое изображеніе только посредствомъ двухъ стеколъ и такъ какъ при прохожденіи лучей через стекло одна часть свѣта теряется отъ отраженія на обѣихъ поверхностяхъ, другая отъ поглощенія его по причинѣ не совершенной прозрачности стекла, то эта трубка имѣетъ то преимущество, что она даетъ болѣе ясныя изображенія. Кромѣ того она короче даже простой астрономической трубки двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ глазнаго стекла, потому что оба стекла лежатъ по одну сторону отъ фокуса. Но невыгода ея состоитъ въ томъ, что въ ней поле зрѣнія мало, какъ это можно видѣть на фигурѣ. Въ самомъ дѣлѣ очевидно, что самое выгодное мѣсто для глаза было бы то, гдѣ параллельные лучи пересѣкаются, какъ въ астрономической трубкѣ; но это мѣсто находится здѣсь между двумя стеклами, такъ что глазъ по необходимости долженъ находиться далеко отъ него. Увеличеніе этой трубки есть:

$$W = \frac{M'C'N'}{MCN} = \frac{F}{f},$$

если F означаетъ фокусное разстояніе предметнаго и f отрицательное фокусное разстояніе глазнаго стекла, т. е. *дабы найти увеличеніе трубки Галилеевой, нужно раздѣ-*

лить фокусное разстояніе предметнаго стекла на фокусное разстояніе глазнаго стекла. Эта трубка по большей части употребляется какъ театральная трубка, по причинѣ двойной выгоды — короткости ея и ясности изображеній. Увеличеніе ея мало (двукратно или трехкратно); отъ этого поле зрѣнія можетъ быть еще довольно большое.

§ 181.

Главную выгоду астрономическихъ и земныхъ трубъ предъ Галилеевою должно искать въ другомъ обстоятельствѣ, отъ котораго именно послѣдняя для астрономической цѣли совершенно не можетъ быть употребляема. Въ простой астрономической трубкѣ въ фокусѣ предметнаго стекла находится дѣйствительное изображеніе предмета, которое мы разсматриваемъ также какъ малые предметы посредствомъ простаго микроскопа. Итакъ если въ томъ самомъ мѣстѣ, гдѣ составляется изображеніе, протянемъ поперегъ трубки тонкую нить изъ паутины или шелку, то мы ясно увидимъ ее чрезъ глазное стекло вмѣстѣ съ изображеніемъ, такъ что по видимому изображеніе пересѣчется нитью. Если протянемъ другую нить подъ прямымъ угломъ къ первой и на томъ же мѣстѣ, то мы получимъ такъ называемыя *перекрестныя нити*, которыхъ точка пересѣченія даетъ въ полѣ зрѣнія трубки опредѣленную и постоянную точку; ее можно направить на какую угодно точку видимаго въ трубкѣ предмета посредствомъ движенія самой трубки и притомъ легко видимъ, что если и весьма мало передвинемъ трубку, то точка пересѣченія нитей передвинется на значительное разстояніе, потому что предметъ кажется сильно увеличеннымъ. Такимъ образомъ можно напр. опредѣлить съ величайшею точностію уголъ между двумя звѣздами; прежде направляютъ

трубку точкою пересѣченія нитей на одну, потомъ на другую звѣзду и трубкѣ даютъ такое устройство, что уголъ, на который она поворачивается, можно измѣрить на раздѣленномъ кругѣ. Такое устройство имѣютъ всѣ употребительные въ астрономіи инструменты.

Можно на мѣстѣ изображенія, произведеннаго предметнымъ стекломъ, прикрѣпить только одну нить, такъ что бы она была натянута на рамкѣ, которую можно двигать и которой движенія можно измѣрять посредствомъ микрометрическаго винта (§ 53). Такимъ образомъ поставляя нить на различныхъ частяхъ предмета, или собственно говоря, его изображенія, мы можемъ опредѣлить относительное разстояніе этихъ частей. Такое устройство называется *микрометромъ съ нитью*.

D. Катоптрическіе телескопы.

1. *Гершелевъ телескопъ.*

§ 182.

Въ катоптрическихъ телескопахъ изображеніе, вмѣсто предметнаго стекла, производится вогнутымъ зеркаломъ, слѣд. оно находится на той же сторонѣ, съ которой падаетъ свѣтъ, и если бы мы стали разсматривать его сквозь простой микроскопъ, то мы заслонили бы головой часть падающаго свѣта. Три главные рода зеркальныхъ телескоповъ, отличаются способами, посредствомъ которыхъ устранено это неудобство.

Гершель въ своемъ катоптрическомъ телескопѣ ставилъ въ трубку (фиг. 231) вогнутое зеркало немного въ косвенномъ положеніи, такъ что изображеніе предмета MN о-

бразовалося въ фокусѣ зеркала на краю въ M'N', гдѣ оно увеличивается посредствомъ простаго микроскопа. При косвенномъ положеніи зеркала изображенія бываютъ немного измѣненными и такъ какъ зеркало должно быть поставлено тѣмъ косвеннѣе, чѣмъ короче телескопъ, то изъ этого слѣдуетъ, что такое устройство можно, безъ вреда для ясности изображенія, употреблять только въ весьма большихъ телескопахъ. Такимъ образомъ Гершель устроилъ свой исполинскій телескопъ въ 40 футовъ длины, самый сильный, который мы знаемъ до сихъ поръ, но который теперь уже не употребляется какъ по причинѣ неудобности встрѣчаемой при направленіи его, такъ и потому, что зеркало частію потеряло свою политуру. Самая большая выгода этого устройства предъ прочими состоитъ въ томъ, что въ немъ употребляется только одно зеркало; ибо такъ какъ металлическія зеркала (*) отражаютъ только половину падающихъ лучей, то при двухъ зеркалахъ отразится только $1/4$ и слѣд. свѣтъ при употребленіи двухъ зеркалъ будетъ слабѣе на половину. Но съ другой стороны большее неудобство состоитъ въ томъ, что наблюдатель долженъ находиться на концѣ обращенномъ вверхъ. Въ большомъ Гершелевомъ телескопѣ для этого виситъ скамейка для наблюдателя при отверстіи трубы, такъ что при направленіи ея на звѣзды наблюдатель вмѣстѣ поднимаемъ былъ вверхъ.

(*) *Примѣчаніе.* Въ телескопахъ нельзя употреблять обыкновенныхъ стеклянныхъ зеркалъ съ амальгамою, потому что послѣднія даютъ два изображенія, одно отъ задней поверхности, которое яснѣе и другое отъ передней менѣе ясное; какъ оба эти изображенія не совпадаютъ, то онѣ вредятъ ясности. Въ этомъ можно удостовѣриться, если косвенно смотрѣть въ такомъ зеркалѣ на изображеніе какого нибудь предмета.

Увеличеніе этого телескопа опредѣляется какъ въ астрономическихъ трубкахъ:

$$W = \frac{F}{f},$$

гдѣ F есть фокусное разстояніе зеркала и f фокусное разстояніе глазнаго стекла. Въ этомъ телескопѣ изображенія бываютъ превращены, какъ слѣдуетъ изъ § 143.

§ 183.

2. *Ньютоновъ телескопъ.*

Лучи отдаленнаго предмета, падающіе на вогнутое зеркало AB (фиг. 252), дали бы въ главномъ фокусѣ превращенное изображеніе M′N′, но прежде, нежели оно образуется, лучи, не сходясь ни болѣе ни менѣе прежняго, отклоняются отъ своего направленія на прямой уголъ, посредствомъ маленькаго плоскаго зеркала KL, наклоненнаго къ нимъ подъ угломъ 45° слѣд. они составятъ изображеніе M″N″, на такомъ же разстояніи отъ зеркала, на которомъ M′N′ находится позади зеркала. Это изображеніе увеличивается посредствомъ простаго микроскопа. Очевидно, что увеличеніе въ этомъ телескопѣ будетъ тоже, какъ и въ Гершелевомъ:

$$W = \frac{F}{f}$$

потому что плоское зеркало ни къ чему больше не способствуетъ, какъ только къ перемѣнѣ направленія лучей. Итакъ въ этомъ телескопѣ смотрятъ со стороны и его трудно было бы направить напр. на звѣзду, если бы къ нему не была присоединена маленькая подзорная трубка FG съ перекрестными нитями. Эта трубка поставлена такъ, что когда звѣзда совпадаетъ съ точкою пересѣченія перекрестныхъ нитей ея, то она находится въ срединѣ поля зрѣнія главнаго телескопа. Эта трубка называется *искатель* и употребляется и при другихъ большихъ трубкахъ, для того, что по причинѣ большаго поля зрѣнія ее легче направить на данный предметъ, нежели большую трубку. Неудобство Ньютонова телескопа состоитъ, кромѣ ослабленія свѣта при двоякомъ отраженіи его, еще въ томъ, что часть падающихъ лучей удерживается маленькимъ зеркаломъ KL и частями прикрѣпляющими его.

3. *Грегоріанскій телескопъ.*

§ 184.

Главное зеркало AB (фиг. 233) по срединѣ имѣетъ отверстіе; лучи падающіе на него отъ оконечныхъ точекъ M и N предмета послѣ отраженія составятъ превращенное изображеніе M′N′, въ которомъ, какъ извѣстно, лучи выходящіе изъ одной точки пересѣкаются, послѣ они опять расходятся и такимъ образомъ падаютъ на маленькое вогнутое зеркало CD, отъ котораго они отражаются; сдѣлавшись болѣе сходящимися отъ дѣйствія собирательнаго стекла FG, они соединятся и составятъ второе изображеніе M″N″, которое въ отношеніи къ M′N′ есть превращенное, а слѣд. въ отношеніи къ самому предмету MN прямое. Это изображеніе M″N″ увеличивается простымъ микроскопомъ HF; въ K находится отверстіе, чрезъ которое смотрятъ. Итакъ этотъ телескопъ даетъ прямыя изображенія, но имѣетъ тѣже невыгоды, какія Ньютоновъ телескопъ. Опредѣленіе увеличенія здѣсь не трудно, но оно болѣе запутано, потому что два зеркала и два стекла имѣютъ вліяніе на него; мы имѣемъ тѣмъ большее право оставить подробнѣйшее изслѣдованіе этого отъ того, что зеркальные телескопы теперь мало употребительны.

Изъ предъидущаго мы видимъ, что катоптрическіе телескопы, также какъ и діоптрическіе, кромѣ Галилеева, даютъ въ фокусѣ глазнаго стекла дѣйствительное изображеніе предмета, и что по этому и въ нихъ въ этомъ мѣстѣ можно поставить перекрестныя нити или микрометръ.

Кромѣ того они имѣютъ ту большую выгоду, что не даютъ хроматической аберраціи, потому что при отраженіи свѣтъ не разлагается на цвѣты. Такъ какъ прежде думали, что невозможно составить ахроматическаго предметнаго стекла, то старались преимущественно только объ усовершенствованіи зеркальныхъ телескоповъ. Но большая потеря свѣта и легкая порча полировки зеркалъ произвели то, что въ новѣйшія времена, когда ахроматическія предметныя стекла такъ усовершенствованы, особенно знаменитымъ Фрауенгоферомъ, эти телескопы почти оставлены; по этому ихъ теперь рѣдко можно видѣть и только большіе изъ нихъ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ употребляются для астрономической цѣли.

§ 185.

При разсмотрѣніи каждаго телескопа отдѣльно мы видѣли, какимъ образомъ изъ фокусныхъ разстояній стеколъ и зеркалъ можно вычислить безъ труда увеличеніе. Но есть средство опредѣлить съ достаточною точностію увеличеніе въ телескопахъ уже совершенно составленныхъ. Мы упомянемъ здѣсь только объ одномъ, которое весьма просто, особенно для слабыхъ увеличеній, какъ напр. въ театральныхъ трубкахъ. Чрезъ телескопъ смотрятъ однимъ глазомъ на предметъ, находящійся въ отдаленіи, а другимъ не вооруженнымъ непосредственно на самый предметъ. При этомъ въ началѣ обыкновенно увидимъ предметъ только однимъ глазомъ, напр. тѣмъ, которымъ смотримъ въ телескопъ; но посредствомъ нѣсколькихъ попытокъ можно дойти до того, что мы будемъ видѣть оба изображенія вмѣстѣ и притомъ такъ, что онѣ кажутся на одномъ и томъ же мѣстѣ и покрывающими одно другое. Тогда мы можемъ оцѣнить, во сколько разъ размѣръ увеличеннаго телескопомъ изображенія больше размѣра непосредственно видимаго предмета; это отношеніе очевидно даетъ намъ увеличеніе, производимое телескопомъ; оцѣнка будетъ легче, если предметъ такого рода, что онъ состоитъ изъ частей приблизительно равныхъ, такъ напр. для слабаго телескопа удобнымъ предметомъ можетъ быть оконичная рама, состоящая изъ многихъ перекладинъ, стѣна, въ которой видны кирпичи и т. д.

E. Сложный микроскопъ.

§ 186.

Мы видѣли, что посредствомъ простаго микроскопа производятъ всѣ возможныя увеличенія, однако если онѣ должны быть очень большія, то отчасти сферическая аберрація дѣлаетъ изображенія не ясными, отчасти предметъ имѣетъ мало свѣту. По этому для большихъ увеличеній употребляютъ такъ называемый сложный микроскопъ.

Теорія сложнаго микроскопа есть таже самая, которую мы изъяснили при простой астрономической трубкѣ, съ тѣмъ только различіемъ что при микроскопическихъ предметахъ въ нашей волѣ состоитъ приблизить ихъ къ намъ на какое угодно разстояніе, напротивъ при употребленіи телескоповъ предметы всегда находятся въ большомъ разстояніи отъ насъ.

Итакъ микроскопъ состоитъ также изъ двухъ выпуклыхъ стеколъ, предметнаго и глазнаго; но кривизна въ предметномъ, обыкновенно ахроматическомъ, сильнѣе, нежели въ глазномъ; поэтому фокусное разстояніе его гораздо меньше. Если приблизимъ къ этому предметному стеклу AB (фиг. 234) малый предметъ MN такъ, что бы онъ находился между фокусомъ F и двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ, то какъ знаемъ изъ § 159. 3 мы получимъ превращенное изображеніе M′N′, которое больше MN, и это увеличеніе опредѣлимъ формулою:

$$W = \frac{F}{d-F},$$

гдѣ F означаетъ главное фокусное разстояніе стекла и d разстояніе предмета MN отъ стекла. Увеличеніе глазнаго стекла, въ главномъ фокусѣ котораго находится изображеніе M′N′, есть увеличеніе простаго микроскопа, которое какъ извѣстно равно $\frac{9''}{f}$, гдѣ f есть фокусное разстояніе глазнаго стекла и 9″ есть наименьшее разстояніе яснаго зрѣнія. Слѣд. увеличенное изображеніе M′N′ будетъ еще увеличено во столько разъ, и такъ все увеличеніе будетъ:

$$W = \frac{9''}{f} \cdot \frac{F}{(d-F)}$$

т. е. во столько разъ изображеніе на сѣткѣ или уголъ зрѣнія дѣлается больше, нежели когда мы смотримъ на предметъ не вооруженнымъ глазомъ въ самомъ выгодномъ положеніи, именно на разстояніи яснаго зрѣнія 9″. Очевидно мы должны сравнить увеличеніе микроскопа съ видѣніемъ при этомъ разстояніи; ибо имѣя возможность по произволу измѣнять разстояніе предмета для лучшаго видѣнія простымъ глазомъ, мы натурально помѣстимъ его самымъ выгоднымъ образомъ. Обыкновенно въ телескопахъ бываетъ еще третье стекло, собирательное, между предметнымъ и

изображеніемъ M′N′; чрезъ это, какъ въ кеплеровомъ телескопѣ, поле зрѣнія дѣлается больше и микроскопъ короче. Отъ этого стекла опредѣленіе увеличенія дѣлается не много запутаннѣе, оно равно:

$$W = \frac{9'' dFF'}{f(d-F)(F'-D)+dF)}$$

гдѣ F′ есть фокусное разстояніе собирательнаго стекла и D разстояніе этого стекла отъ предметнаго.

Всѣ три стекла неподвижно укрѣплены въ одной трубкѣ; ясное зрѣніе для близорукихъ и дальновидныхъ производится тѣмъ, что трубку можно болѣе и менѣе приближать къ предмету или отдалять отъ него. Надъ глазнымъ стекломъ находится еще трубка съ отверстіемъ KL, такъ что глазъ здѣсь самъ по себѣ принимаетъ самое выгодное для зрѣнія положеніе; движеніе предметнаго стекла къ предмету или отъ предмета съ желаемою точностію производится весьма медленно посредствомъ обращенія винта. Труба находится въ вертикальномъ положеніи, предметное стекло обращено внизъ, внизу находится стеклянная пластинка, на которой лежитъ предметъ разсматриваемый. Подъ стекломъ прикрѣплено плоское зеркало CD, отъ котораго отражается вверхъ свѣтъ неба. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ происходитъ изображеніе M′N′, можно поставить микрометръ съ нитями (§ 181) и такимъ образомъ можно весьма точно измѣрить малые предметы. Увеличеніе микроскопа можно опредѣлить также какъ и увеличеніе телескопа; для этого смотрятъ сквозь микроскопъ на мелкія дѣленія напр. на 1/10 линіи а другимъ глазомъ, на разстояніи 9″, на другое опредѣленное дѣленіе, напр. на 1 линію. Если дойдемъ до того что ясно увидимъ оба дѣленія, то легко опредѣлить сколько дѣленій видимаго простымъ глазомъ маштаба покрывается увеличеннымъ посредствомъ микроскопа дѣленіемъ; если напр. покрывается 10 дѣленій, то, такъ какъ каждая часть

маштаба въ 10 разъ больше каждой изъ 10 частей увеличеннаго дѣленія, все увеличеніе будетъ въ 100 разъ больше.

Самыя большія увеличенія, которыя съ пользою можно употреблять въ лучшихъ новѣйшихъ микроскопахъ простираются до 1000 въ одномъ измѣреніи, и если мы читаемъ иногда, что микроскопъ увеличиваетъ въ 1000000 разъ, то здѣсь разумѣется плоскостное увеличеніе, которое пропорціонально квадратамъ линейныхъ увеличеній, такъ что плоскостное увеличеніе 1000000 соотвѣтствуетъ 1000 линейнаго увеличенія.

F. *Солнечный микроскопъ.*

§ 187.

Если станемъ болѣе и болѣе приближать какой нибудь предметъ къ фокусу выпуклаго стекла, то за стекломъ мы получимъ изображеніе, которое, какъ извѣстно, все становится болѣе и болѣе, и вмѣстѣ съ тѣмъ удаляется отъ стекла (§ 159). Если при этомъ поставимъ выпуклое стекло въ отверстіе, сдѣланное въ ставнѣ темной комнаты, то изображеніе предмета ясно представляется на бѣлой плоскости внутри комнаты и такимъ образомъ очевидно мы можемъ получить какое намъ угодно увеличеніе предмета, котораго изображеніе отъ увеличенныхъ изображеній обыкновеннаго микроскопа отличается тѣмъ, что его могутъ видѣть разомъ всѣ особы находящіяся въ комнатѣ. Но при этомъ увеличеніи свѣтъ предмета распространяется по большей поверхности, такъ что если линейное увеличеніе будетъ 10, то свѣтъ будетъ во 100 разъ слабѣе; кромѣ того одна часть свѣта потеряется при прохожденіи черезъ стекло, а другая гораздо большая при отраженіи изображенія отъ бѣлой поверхности, ибо при немъ свѣтъ раз-

сѣвается во всѣ стороны, такъ что каждый наблюдатель будетъ видѣть изображеніе посредствомъ только нѣкоторыхъ лучей, падающихъ на глазъ его, между тѣмъ какъ всѣ другіе на него не дѣйствуютъ. По этому должно какъ можно больше усиливать свѣтъ предмета; это дѣлается въ солнечномъ микроскопѣ посредствомъ сосредоточенія солнечныхъ лучей на маломъ предметѣ помощію слѣдующаго устройства. Въ оконичной ставнѣ темной комнаты дѣлаютъ отверстіе, въ которое ввинчивается трубка ABED (фиг. 235). Внѣ ставни находится плоское зеркало AC, которое посредствомъ шестерни изъ внутренности комнаты можетъ быть приведено въ какое угодно положеніе, такъ что оно можетъ отражать солнечный свѣтъ прямо въ трубу. Въ трубѣ находятся два стекла AB и ED, собирающія параллельные лучи солнечные въ малое пространство, въ которомъ ставится предметъ MN, обыкновенно защемленный между двумя плоскими стеклами. Чрезъ это онъ бываетъ сильно освѣщенъ. Передъ предметомъ находится увеличительное стекло GF, которымъ производится превращенное изображеніе предмета на бѣлой плоскости. Разстояніе предмета MN отъ стекла GF можно измѣнять и такимъ образомъ привести изображеніе точно въ то мѣсто, гдѣ находится бѣлая поверхность.

Эти микроскопы имѣютъ ту невыгоду, что они при употребленіи своемъ необходимо требуютъ солнечнаго свѣта, слѣд. ясныхъ дней. По этой причинѣ произвели сильное освѣщеніе предмета, употребляя такъ называемый Друммондовъ свѣтъ. Друммондъ показалъ, что если смѣсь изъ кислорода и водорода въ содержаніи какъ 1 : 2 по объему или гремучій воздухъ (§ 16) выпускать изъ узкой трубки, и горящую струю этихъ газовъ направить на кусокъ извести, то онъ накаливается такъ сильно, что глазъ

не можетъ переносить блеска его. Этотъ свѣтъ, который по фотометрическимъ опытамъ, какъ мы видѣли въ § 136 въ 1649 разъ ярче свѣта сальной свѣчи, можетъ весьма хорошо замѣнять въ солнечномъ микроскопѣ солнечный свѣтъ; для этого его также собираютъ на предметъ посредствомъ выпуклаго стекла. Такимъ образомъ устроенный микроскопъ называютъ иногда *водороднымъ микроскопомъ*.

§ 188.

Волшебный фонарь (Laterna magica), собственно есть тоже что солнечный микроскопъ, только въ немъ освѣщеніе производится посредствомъ лампы и увеличеніе не такъ сильно. KL есть четыреугольный фонарь (фиг. 236), C лампа, AB вогнутое зеркало, въ центрѣ котораго находится лампа, такъ что лучи выходящіе изъ ней отражаются отъ зеркала опять въ центръ его и вмѣстѣ съ посредственными лучами отъ лампы проходятъ въ трубку DEFG. Въ прорѣзъ DE вкладываются различныя изображенія нарисованныя на стеклѣ прозрачными красками; FG есть выпуклое стекло, которымъ производится изображеніе фигуръ на бѣлой плоскости поставленной на опредѣленномъ разстояніи. Вмѣсто однаго стекла FG бываютъ обыкновенно два, которыя впрочемъ дѣйствуютъ какъ одно, но съ меньшею аберраціею. Этотъ приборъ не употребляется, какъ микроскопъ для увеличенія предметовъ, находящихся въ DE, но для забавы.

§ 189.

G. *Камера обскура (темная комната)*, *Камера клара* и *Камера люцида*. *Камера обскура* есть приборъ, ко-

тораго устройство лучше всего можно сравнить съ устройствомъ глаза. Въ пирамидальномъ ящикѣ DCEF (фиг. 237) вверху находится отверстіе DC содержащее выпуклое стекло, котораго фокусное разстояніе равно разстоянію его отъ дна EF. Выше стекла поставлено зеркало AB подъ угломъ 45°. Теперь если въ MN находится предметъ, то, какъ извѣстно, лучи выходящіе изъ M и N отразятся на зеркалѣ, такъ какъ будтобъ они выходили изъ M′ и N′. Послѣ отраженія лучи проходятъ черезъ стекло DC и даютъ малое изображеніе предмета на EF. Для того чтобъ оно упало прямо на EF стекло можетъ быть поднято или опущено внизъ. Изображеніе имѣетъ положеніе M″N″. Ящикъ отъ K до E открытъ такъ много, что человѣкъ можетъ помѣстить въ ящикѣ свою голову, грудь и руки; кускомъ сукна KL покрывается спина наблюдателя и устраняется посторонній свѣтъ. Итакъ наблюдатель на днѣ EF, гдѣ кладется бѣлая бумага, увидитъ прямое изображеніе M″N″ и можетъ карандашемъ вѣрно начертить на бумагѣ абрисъ предмета. По этому приборъ этотъ служитъ къ тому, чтобы вѣрно скопировать предметъ. Вмѣсто зеркала и стекла лучше взять призму ABC (фиг. 238), въ которой выпуклыя поверхности AB и BC дѣйствуютъ, какъ выпуклыя стекла, а плоская поверхность AC перемѣняетъ на прямой уголъ, посредствомъ полнаго внутренняго отраженія (§ 148), направленіе лучей безъ всякой потери свѣта.

Камера клара собственно есть тоже, что камера обскура съ тѣмъ только различіемъ, что въ ней изображеніе отражается вверхъ на матовое полупрозрачное стекло AB, (фиг. 139) такъ что его можно видѣть сверху. CD есть выпуклое стекло, FG зеркало обращенное вверхъ полированною поверхностію, AK крышка, которая косвенно поднимается и боковою доскою AKL частію устраняетъ внѣшній свѣтъ.

Здѣсь наблюдатель не долженъ самъ находиться въ темнотѣ, какъ въ камерѣ обскурѣ; по этому и приборъ этотъ гораздо меньше. Онъ также служитъ для съемки правильныхъ очертаній.

Камера люцида имѣетъ туже цѣль, но она гораздо меньше и удобнѣе для перенесенія, нежели оба предъидущіе инструмента. Она состоитъ изъ четырехсторонней призмы ABCD, гдѣ A есть прямой уголъ (фиг. 240), AB = AD и BC = DC и гдѣ DCB = 120°. AD обращается къ предмету, который хотятъ нарисовать, глазъ смотритъ внизъ черезъ край B, надъ которымъ находится пластинка съ маленькимъ отверстіемъ O, которой одна часть находится надъ стекломъ а другая подлѣ него.

Предметъ черезъ внутреннее отраженіе изображается какъ въ зеркалѣ въ DC, потомъ въ BC и приходитъ такимъ образомъ въ глазъ. Ему кажется, что онъ видитъ предметъ въ направленіи OM и когда въ M будетъ находиться листъ бумаги, то предметъ будетъ проектируемъ на него въ прямомъ положеніи, потому что отъ двухъ отраженій онъ превращается два раза. Но такъ какъ часть отверстія O находится подлѣ стекла, то одна половина зрачка будетъ смотрѣть на M непосредственно, а другая черезъ стекло; итакъ можно видѣть въ одно время отраженное изображеніе и карандашъ въ M и слѣд. посредствомъ его можно очертить абрисъ предмета на бумагѣ.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

ОБЪ ОСТАЛЬНЫХЪ ЯВЛЕНІЯХЪ СВѢТА.

§ 190.

Въ предъидущемъ мы подробно разсмотрѣли тѣ явленія свѣта, которыя обыкновенно представляются наблюдателю въ природѣ. Но есть много другихъ, которыя, хотя не такъ легко могутъ быть наблюдаемы, потому что для нихъ нужны особенные часто сложные инструменты, но которыя при всемъ томъ часто намъ представляются и въ общежитіи, только въ не совершенномъ видѣ. По этому мы кратко разсмотримъ только главные пункты, не останавливаясь на объясненіи ихъ.

I. *О цвѣтахъ тонкихъ пластинокъ.*

Если выпуклое стекло съ весьма малою кривизною придавимъ къ плоскому стеклу и станемъ смотрѣть на точку прикосновенія, то она будетъ казаться черною и окруженною многими кольцами, которыя на внутреннемъ краю имѣютъ синій или фіолетовый цвѣтъ, на внѣшнемъ красный или оранжевый. Явленіе будетъ еще подобное, если на стекло будетъ пропущенъ свѣтъ не бѣлый но простой, напр. красный, посредствомъ краснаго стекла. Но тогда являются только красныя кольца a, b, c (фиг. 241), отдѣленныя одно отъ другаго черными; фіолетовый цвѣтъ даетъ фіолетовыя кольца вмѣсто красныхъ съ тѣмъ только различіемъ, что діаметры ихъ меньше діаметровъ соотвѣтственныхъ колецъ краснаго цвѣта. Тоже самое бываетъ и съ другими цвѣтами; кольца имѣютъ тѣмъ меньшій діаметръ, чѣмъ ближе цвѣ-

ты къ фіолетовому концу призматическаго спектра. Когда употребляемъ бѣлый свѣтъ, то всѣ системы различныхъ цвѣтныхъ колецъ являются вмѣстѣ и частію закрываютъ другъ друга и тогда легко видно, какимъ образомъ должны произойти различныя смѣси колецъ, которыя на внутреннемъ краю должны болѣе приближаться къ фіолетовому, а на внѣшнемъ къ красному цвѣту, потому что діаметръ фіолетовыхъ есть наименьшій и діаметръ красныхъ колецъ наибольшій.

Точнѣйшее изслѣдованіе законовъ, по которымъ составляются эти кольца въ бѣломъ свѣтѣ, показало знаменитому Ньютону, что извѣстному, впрочемъ весьма малому, промежутку между двумя стеклами всегда соотвѣтствуетъ извѣстный цвѣтъ; и такъ если мы одинъ разъ употребимъ предметное стекло съ слабою кривизною, а потомъ съ сильною, то въ послѣднемъ случаѣ кольца будутъ имѣть меньшій діаметръ, потому что здѣсь промежутокъ какой нибудь опредѣленной толщины отстоитъ отъ центра на меньшее разстояніе, нежели въ первомъ случаѣ. Впрочемъ цвѣтъ зависитъ также и отъ вещества, которое наполняетъ промежутки между обоими стеклами; напр. одинъ и тотъ же цвѣтъ соотвѣтствуетъ гораздо меньшимъ промежуткамъ, когда они наполнены водою, нежели тогда когда эти промежутки занимаются воздухомъ. Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что если прозрачное тѣло будетъ весьма тонко, то въ бѣломъ свѣтѣ оно кажется окрашеннымъ и притомъ краски измѣняются, какъ скоро измѣняется хотя не много толщина его. Такъ напр. слой воды кажется зеленымъ если толщина его равна $\frac{19}{1000000}$ дюйма; пурпуровымъ когда толщина равна $\frac{15}{1000000}$ дюйма и проч.

Въ этомъ состоитъ причина яркихъ цвѣтовъ въ мыльныхъ пузыряхъ, гдѣ цвѣты всегда перемѣняются, потому что толщина водянаго слоя въ пузыряхъ измѣняется. Тѣже цвѣты можно видѣть внутри слюды въ томъ мѣстѣ, гдѣ листочки ея находятся не въ совершенномъ прикосновеніи; придавляя пальцемъ въ такомъ мѣстѣ, мы найдемъ, что цвѣты перемѣняютъ свое мѣсто, потому что въ этомъ случаѣ разстояніе листочковъ перемѣняется. Этимъ же самымъ объясняется игра цвѣтовъ на старыхъ стеклахъ, въ которыхъ поверхность отъ вліянія воздуха и влажности такъ измѣнилась, что тоненькій слой стекла отдѣляется отъ всей массы и по причинѣ тонкости его кажется окрашеннымъ.

§ 191.

II. *Уклоненіе свѣта* (Диффракція).

Если въ темную комнату пропустимъ лучи солнца черезъ узкое линіи подобное отверстіе и потомъ въ направленіи ихъ будемъ смотрѣть на это отверстіе сквозь подобное и параллельное ему другое линейное отверстіе, то мы увидимъ во первыхъ свѣтлую линію AB (фиг. 242) по срединѣ, потомъ по обѣ стороны прорѣза призматическіе спектры CD и C'D', EF и E'F' и пр., въ которыхъ фіолетовый цвѣтъ ближе находится отъ отверстія AB, нежели красный. Лучше всего сдѣлать этотъ опытъ такъ, что второе отверстіе находится не непосредственно передъ глазомъ, но передъ предметнымъ стекломъ телескопа, въ который мы смотримъ на свѣтящуюся линію въ ставнѣ. Изъ сего слѣдуетъ, что свѣтъ при прохожденіи черезъ узкія отверстія *уклоняется*, красный цвѣтъ больше, фіолетовый меньше другихъ цвѣтовъ. Это уклоненіе называется *диффракціею*; оно отличается отъ отклоненій, происходящихъ

при отраженіи и преломленіи тѣмъ, что при *отраженіи* лучь отклоняется не разлагаясь на цвѣты; при *преломленіи* бѣлый свѣтъ также разлагается на цвѣты, но изъ нихъ красный отклоняется меньше, нежели фіолетовый.

Явленія диффракціи бываютъ красивѣе, если передъ предметнымъ стекломъ телескопа будетъ находиться не одинъ прорѣзъ, но множество оныхъ расположенныхъ параллельно по правильнымъ промежуткамъ. Такое устройство называютъ *рѣшеткою*. Чѣмъ тоньше рѣшетка, тѣмъ отклоненіе бываетъ больше и тѣмъ чище бываютъ цвѣты такъ, что при весьма тонкихъ рѣшеткахъ видимы даже бываютъ фрауенгоферовы линіи. Фрауенгоферъ, открывшій это явленіе диффракціи, производимой рѣшетками, составляетъ, оныя накладывая на стеклянную пластинку листовое золото и потомъ посредствомъ устройства, подобнаго дѣлительной машинѣ съ микрометрическимъ винтомъ, дѣлая прорѣзы на золотѣ въ правильныхъ и параллельныхъ промежуткахъ. Если рѣшетка *кругообразна*, т. е. если золото имѣетъ прорѣзы въ видѣ концентрическихъ круговъ и если будемъ смотрѣть сквозь нее на свѣтящуюся точку, то явленія диффракціи бываютъ кругообразныя. Если разстояніе прозрачныхъ круговъ не совершенно равно, то явленія бываютъ нечисты, потому что различные спектры частію закрываются, но всегда фіолетовый цвѣтъ виденъ къ центру ближе, нежели красный.

Впрочемъ явленія диффракціи бываютъ весьма многоразличны; такъ напр. игра цвѣтовъ въ перламутрѣ есть явленіе диффракціи, потому что поверхность перламутра состоитъ изъ весьма тонкихъ параллельныхъ линій, отъ которыхъ отражается свѣтъ и производитъ явленія подобныя явленіямъ рѣшетокъ. Есть пуговицы, на которыхъ находятся тонкія параллельныя черты и которыя по этому уклоняютъ отраженный отъ нихъ свѣтъ, какъ рѣшетки.

§ 192.

III. *Двойное лучепреломленіе и поляризація свѣта.*

До сихъ поръ мы видѣли, что если лучь падаетъ на прозрачную средину, то одна часть его отражается отъ поверхности ея, другая же проходитъ въ нее и обыкновенно отклоняется отъ своего пути, но всегда такъ, что онъ остается *однимъ лучемъ*. Это въ самомъ дѣлѣ имѣетъ мѣсто во всѣхъ родахъ стекла, во всѣхъ жидкостяхъ и во многихъ кристаллизованыхъ тѣлахъ, напр. въ поваренной соли. Но есть много и такихъ кристалловъ въ природѣ, въ которыхъ преломленный лучь раздѣляется на *два луча* одинаковой яркости, идущіе черезъ кристаллы въ различныхъ направленіяхъ и притомъ такъ, что или одинъ изъ нихъ или оба луча продолжаютъ путь не по обыкновеннымъ законамъ преломленія, но по большей части такъ, что преломленный лучь даже не остается въ плоскости паденія. Физикамъ удалось привести эти запутанныя явленія къ простымъ законамъ, такъ что въ двояко-преломляющихъ кристаллахъ можно напередъ посредствомъ вычисленія опредѣлить путь луча, точно также какъ при обыкновенномъ преломленіи; но мы не можемъ здѣсь говорить объ этомъ подробнѣе. Лучшій примѣръ двойнаго преломленія представляетъ *Исландскій шпатъ*, минералъ совершенно прозрачный и который часто бываетъ въ большихъ кускахъ; въ немъ оба преломленные луча такъ далеко отклоняются одинъ отъ другаго, что ихъ легко можно видѣть раздѣленными. Видъ этого кристалла есть ромбоедръ

представленный въ фиг. 243. Если смотрѣть сквозь такой кристаллъ на черную точку, означенную на бѣлой бумагѣ, то она покажется двойною и если станемъ обращать кристаллъ кругомъ на своемъ основаніи, то увидимъ, что одно изображеніе также обращается около другаго.

Но оба луча, полученные при прохожденіи свѣта черезъ Исландскій шпатъ, кромѣ разности законовъ преломленія, по которымъ они распространяются, различаются еще въ другомъ отношеніи. Если одинъ изъ этихъ лучей заслонимъ непрозрачною преградою, а другой пропустимъ чрезъ другой кусокъ шпата, то онъ большею частію и здѣсь раздѣляется на два луча, но они имѣютъ не одинаковую яркость, которая измѣняется, если станемъ обращать второй кристаллъ около луча, какъ около оси. Даже есть два положенія, при которыхъ лучь проходитъ не раздѣляясь на два. Напротивъ обыкновенный лучь всегда даетъ два изображенія и всегда одинаково яркія. Итакъ лучь прошедшій черезъ Исландскій шпатъ пріобрѣтаетъ свойства отличныя отъ свойствъ обыкновеннаго луча: по этому онъ называется *поляризованнымъ лучемъ свѣта*. Есть еще другія средства, кромѣ пропусканія луча черезъ второй кристаллъ, узнать поляризацію свѣта. Самое удобное средство представляетъ турмалинъ. Это есть прозрачный, по большой части зеленаго цвѣта минералъ, который находится въ природѣ въ видѣ многосторонней призмы. Если отшлифовать изъ него пластинку такъ, что бы двѣ параллельныя плоскости ея были параллельны продольной оси призмы и толщина ея была не менѣе $1/2$ линіи, то эта пластинка, хотя она всегда равнымъ образомъ пропускаетъ *обыкновенный* свѣтъ, окрашивая его только зеленымъ цвѣтомъ, но *поляризованный* свѣтъ она пропускаетъ болѣе или менѣе, смотря потому какъ мы обра-

тимъ пластинку къ лучу. Если ABCD представляетъ турмалиновую пластинку (фиг. 244), FG направленіе оси призмы, изъ которой она отшлифована, и если представимъ себѣ разрѣзъ параллельный чертѣ FG и перпендикулярный къ пластинкѣ, то этотъ разрѣзъ называется *главнымъ сѣченіемъ* турмалина. Если станемъ держать турмалинъ передъ глазомъ, и смотрѣть на одинъ изъ лучей получаемыхъ при прохожденіи свѣта черезъ Исландскій шпатъ, то обращая турмалиновую пластинку около луча, какъ около оси, найдемъ такое положеніе, при которомъ лучь совершенно не виденъ; если же замѣтимъ положеніе главнаго сѣченія турмалина въ этомъ случаѣ и повторимъ тотъ же опытъ съ другимъ лучемъ, то и теперь найдемъ такое положеніе турмалина, при которомъ лучь не проходитъ, но теперь главное сѣченіе турмалина составляетъ прямой уголъ съ положеніемъ своимъ для перваго луча. И такъ если A и B представляютъ поперечные разрѣзы обоихъ лучей (фиг. 245) и если предположимъ, что при положеніи MN турмалина лучь A не проходитъ черезъ него, то для другаго луча B мы должны привести турмалинъ въ положеніе M′N′ для того, что бы B не проходилъ черезъ него. Изъ этого мы видимъ, что лучь B имѣетъ тѣже свойства какія A, если только поворотить его на 90°; по этому говорятъ, что A и B поляризованы *перпендикулярно одинъ къ другому*.

И такъ турмалиновая пластинка даетъ намъ простое средство узнать, обыкновенный ли лучь проходитъ въ нашъ глазъ или поляризованный. Для этого турмалинъ держатъ передъ глазомъ и обращаютъ его около луча какъ около оси; если яркость луча остается одинакова при всѣхъ положеніяхъ турмалина, то свѣтъ неполяризованъ; если же лучь въ какомъ нибудь положеніи совершенно не видимъ, то онъ поляризованъ и положеніе турмалина показываетъ,

*

въ какомъ именно направленіи онъ поляризованъ. Когда лучь исчезнетъ въ положеніи MN, то говорятъ, что онъ поляризованъ въ MN или въ плоскости главнаго сѣченія турмалина. И такъ въ нашей фигурѣ лучь A поляризованъ въ MN и B въ M'N' и мы имѣемъ законъ: *турмалиновая пластинка пропускаетъ свѣтъ, который поляризованъ перпендикулярно къ главному сѣченію своему и уничтожаетъ тотъ, который поляризованъ параллельно оному.* Если находимъ, что лучь свѣта не исчезаетъ совершенно, какъ бы мы не поворачивали турмалинъ, но что въ одномъ положеніи онъ достигаетъ наибольшей ярности, а въ другомъ наибольшей темноты, то мы заключаемъ, что онъ *отъ части* только *поляризованъ*, т. е. что одна часть его состоитъ изъ обыкновеннаго, а другая изъ поляризованнаго свѣта.

§ 193.

Посредствомъ этого способа открыто, что самъ турмалинъ можетъ совершенно поляризовать обыкновенный свѣтъ и притомъ перпендикулярно къ своему главному сѣченію. Въ самомъ дѣлѣ, если пропустимъ обыкновенный свѣтъ чрезъ турмалиновую пластинку A, и потомъ чрезъ другую B, то найдемъ что, если главное сѣченіе второй пластинки параллельно главному сѣченію первой, то свѣтъ проходитъ свободно и почти безъ уменьшенія яркости черезъ вторую пластинку B; если же поворотимъ B такъ, что бы главное сѣченіе его лежало крестъ на крестъ съ главнымъ сѣченіемъ A, то не видно будетъ никакого слѣда свѣта. И такъ по нашему правилу отъ перваго турмалина весь свѣтъ поляризуется перпендикулярно къ главному сѣченію его. Въ этомъ опытѣ два прозрачныя тѣла, каковы обѣ турмалиновыя пластинки, только посредствомъ

относительнаго положенія другъ къ другу, могутъ представить совершенно непрозрачную средину.

Если будемъ смотрѣть сквозь турмалиновую пластинку на обыкновенный свѣтъ, отраженный напр. отъ стеклянной или водяной поверхности, то обращая пластинку найдемъ, что есть положеніе, въ которомъ лучь виденъ яснѣе всего, а другое, отстоящее отъ перваго на 90°, при которомъ меньшая часть его проходитъ черезъ турмалинъ. Въ послѣднемъ случаѣ главное сѣченіе турмалина параллельно плоскости отраженія; изъ этого мы заключаемъ, что черезъ отраженіе свѣтъ отчасти поляризуется въ плоскости отраженія. Если измѣнимъ уголъ паденія луча на отражающую поверхность, то измѣняется также количество поляризованной части свѣта въ отраженномъ лучѣ и есть уголъ паденія (въ стеклѣ 56°, въ водѣ 53°), при которомъ весь свѣтъ поляризуется въ плоскости отраженія; слѣд. такимъ образомъ отраженный свѣтъ нельзя видѣть сквозь турмалинъ, котораго ось параллельна оси отраженія. Этотъ уголъ называютъ *угломъ полной поляризаціи.*

Если лучь свѣта проходитъ черезъ стеклянную пластинку, такъ что онъ преломляется въ ней, то турмалиновая пластинка показываетъ, что онъ также отчасти состоитъ изъ поляризованнаго свѣта и притомъ поляризованнаго перпендикулярно къ плоскости преломленія, слѣдовательно перпендикулярно къ плоскости поляризаціи отраженнаго луча. Впрочемъ здѣсь ни при какомъ углѣ паденія не получится полной поляризаціи какъ при отраженіи, но поляризація увеличивается болѣе и болѣе, начиная отъ угла паденія равнаго нулю до 90°.

Итакъ когда солнечный лучь отклоняется отъ своего первоначальнаго направленія мы имѣемъ средство опредѣлить, отклоняется ли онъ посредствомъ отраженія или посред-

ствомъ преломленія; для этого мы смотримъ на него сквозь турмалиновую пластинку и обращаемъ ее около луча до тѣхъ поръ пока не найдемъ того положенія, при которомъ лучь затемняется болѣе всего. Представимъ себѣ плоскость, проведенную черезъ солнце и лучь; если главное сѣченіе турмалина совпадаетъ съ этою плоскостію при положеніи наибольшаго затемненія луча, то свѣтъ есть *отраженный* свѣтъ, если же главное сѣченіе перпендикулярно къ этому положенію, то свѣтъ есть *преломленный* свѣтъ.

Голубой цвѣтъ неба очевидно происходитъ отъ солнца, потому что въ темную ночь его не видно; если теперь на какую нибудь одну точку неба станемъ смотрѣть сквозь турмалинъ, то найдемъ, что эта точка кажется темнѣе тогда, когда главное сѣченіе турмалина совпадаетъ съ плоскостію проведенною черезъ точку, солнце и нашъ глазъ; изъ этого мы заключаемъ, что свѣтъ неба есть солнечный свѣтъ *отраженный* отъ частицъ воздуха.

Недавно предложили употреблять турмалинъ для того, что бы лучше смотрѣть сквозь него въ глубину моря. Это легко можно понять по предъидущему. Если мы смотримъ на поверхность воды MN (фиг. 246), то въ нашъ глазъ O доходятъ отъ нея два рода лучей, лучи, отраженные отъ поверхности воды какъ AC и лучи, идущіе изъ глубины, какъ DC; такъ какъ первые ярче послѣднихъ, то идущіе изъ глубины трудно бываетъ отличить и дабы видѣть оные, лучше бы было совсѣмъ уничтожить отраженные лучи AC. Это можно сдѣлать, если мы сквозь турмалиновую пластинку PQ будемъ смотрѣть на поверхность воды и притомъ въ такомъ направленіи OC, что уголъ OCF слѣд. и ACF почти $=53^{0}$; при этомъ углѣ отраженные лучи совершенно поляризуются въ плоскости отраженія, слѣд. не проходятъ чрезъ пластинку, если

мы будемъ ее держать такъ, какъ показано въ фигурѣ, т. е. такъ что главное сѣченіе ея совпадаетъ съ плоскостію отраженія. Напротивъ лучь DC черезъ преломленіе частію поляризуется перпендикулярно къ плоскости преломленія слѣд. онъ бываетъ еще способнѣе пройти черезъ турмалинъ, нежели когда онъ совершенно неполяризованъ; и такимъ образомъ мы видимъ тогда одни лучи, выходящіе изъ подъ воды.

Поляризація подала поводъ къ открытію многихъ явленій, которыя принадлежатъ къ самымъ блистательнымъ во всей оптикѣ, именно въ отношеніи къ многоразличію и блеску цвѣтовъ; но мы должны пройти молчаніемъ эти явленія. Мы только замѣтимъ, что теоретически онѣ совершенно изъясняются, такъ что оптика есть та часть Физики, которой теорія принадлежитъ къ совершеннѣйшимъ.

IV. *О теоріяхъ свѣта.*

§ 194.

Не много прошло лѣтъ съ тѣхъ поръ, какъ въ руководствахъ Физики еще принуждены были изъяснять явленія свѣта по двумъ теоріямъ, потому что обѣ онѣ равно хорошо объясняли извѣстныя тогда явленія. Одна изъ нихъ, *теорія истеченія свѣта*, ведетъ начало отъ знаменитаго Ньютона и долго принимаема была всѣми Физиками. По этой теоріи изъ свѣтящагося тѣла безпрестанно выходитъ весьма тонкая матерія движущаяся съ чрезвычайною быстротою; она идетъ въ пустомъ пространствѣ по прямымъ линіямъ, пока не дойдетъ до какого нибудь тѣла; тѣла притягиваютъ свѣтъ и при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ отталкиваютъ его

и черезъ это отклоняютъ лучь отъ своего пути. Такимъ образомъ при допущеніи еще нѣкоторыхъ вспомогательныхъ гипотезъ довольно хорошо объясняются отклоненія свѣта, производимыя отраженіемъ, преломленіемъ и диффракціею; впрочемъ и здѣсь многія обстоятельства остаются неизъяснимыми, но особенно касательно двойнаго лучепреломленія и поляризаціи эта гипотеза оказывается совершенно недостаточною. Другая теорія есть теорія *волненій*, предложенная Декартомъ и Гюйгенсомъ (Huygens), защищенная Эйлеромъ и послѣ, въ слѣдствіе новѣйшихъ усовершенствованій ея, сдѣланныхъ Юнгомъ (Young) и Френелемъ (Fresnel), почти всеобще принятая. По этой теоріи нѣтъ совершенно пустаго пространства, но повсюду распространена тонкая матерія, получившая названіе *эѳира* и отличающаяся своею большою упругостію. Въ такъ называемомъ пустомъ пространствѣ эѳиръ имѣетъ вездѣ одинаковую плотность, но распространяясь также внутри всѣхъ тѣлъ между атомами ихъ, онъ отъ вліянія ихъ пріобрѣтаетъ здѣсь различныя плотности. Когда эѳиръ находится въ покоѣ, то мы не замѣчаемъ существованія его; но свѣтящіяся тѣла имѣютъ свойство приводить его въ колебательное движеніе, какъ звучащія тѣла заставляютъ колебаться воздухъ; и если эти колебанія доходятъ въ нашемъ глазѣ до сѣтки, то мы получаемъ ощущеніе *свѣта*. Но колебанія эѳира несравненно скорѣе колебаній звука, и свѣтовыя волны не смотря на большую скорость распространенія колебаній эѳира, гораздо меньше звучныхъ волнъ. Отъ скорости, слѣд. и отъ длины свѣтовой волны (§ 126), зависитъ ощущеніе въ нашемъ глазѣ; самыя длинныя волны производятъ ощущеніе *краснаго цвѣта*, самыя короткія *фіолетоваго*. Есть даже возможность опредѣлить длину разныхъ волнъ и нашли, что для краснаго цвѣта она $= \frac{26}{1000000}$ дюйма, для фіолетоваго $= \frac{17}{1000000}$.

Напряженіе свѣта, какъ напряженіе звука, зависитъ не отъ длины волны, но отъ ширины размаховъ при колебаніи каждой частицы эѳира. Явленія отраженія и преломленія совершенно объясняются по этой теоріи, также и явленія свѣто-разсѣянія. Трудности, имѣющія здѣсь мѣсто, состоятъ не въ недостаточности предположеній, но въ запутанности вычисленія и всегда болѣе и болѣе преодолѣваются. Блистательнѣе всего сія теорія оправдывается въ запутанныхъ явленіяхъ диффракціи и поляризаціи, именно въ тѣхъ пунктахъ, въ которыхъ другая теорія весьма недостаточна. Теорія волненій легко объясняетъ здѣсь самыя сложныя явленія посредствомъ начала *интерференціи* свѣта. Оно состоитъ въ томъ, что если два луча, выходящіе изъ одной свѣтящейся точки, одного цвѣта, одинаковаго напряженія и идущіе почти по одному и тому же направленію, падаютъ въ одну точку, то имъ предстоитъ одинаковая возможность *усилить освѣщеніе* въ этой точкѣ или произвести *совершенную темноту*. Это странное слѣдствіе теоріи волненій доказано опытами, которые мы здѣсь должны пропустить, и легко видѣть, какъ оно выходится изъ самой теоріи. Въ самомъ дѣлѣ, такъ какъ въ каждомъ лучѣ свѣта частицы эѳира движутся и туда и сюда, то легко можетъ случиться, что какое нибудь колебаніе одного луча, имѣющее направленіе впередъ, совпадетъ съ какимъ нибудь колебаніемъ другаго луча имѣющимъ тоже направленіе; тогда въ этомъ мѣстѣ движущія силы дѣйствуютъ въ одну сторону и слѣд. взаимно усилятся. Но можетъ и случиться, что движеніе одного луча, имѣющее направленіе впередъ, совпадетъ съ движеніемъ другаго луча взадъ; тогда эти движенія противодѣйствуютъ другъ другу, отъ этого частицы эѳира придутъ, если движенія равны, въ совершенной покой, т. е. тогда произойдетъ темнота.

Мы не можемъ здѣсь подробнѣе говорить объ этой теоріи, впрочемъ она такъ совершенно развита, какъ ни какая другая теорія въ Физикѣ, такъ что она даетъ отчетъ въ малѣйшихъ обстоятельствахъ явленій. По этому она есть теорія, которую теперь принимаютъ почти всѣ Физики.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ.

ОБЪ ОПТИЧЕСКИХЪ ЯВЛЕНІЯХЪ ВЪ НАШЕЙ АТМОСФЕРѢ.

§ 195.

Какое нибудь явленіе въ нашей атмосферѣ принадлежитъ къ оптическимъ, если оно производится свѣтомъ. Объ одномъ изъ явленій такого рода, именно объ атмосферномъ лучепреломленіи, мы уже говорили (§ 153).

1. *Голубой цвѣтъ неба.*

Голубой цвѣтъ неба также принадлежитъ къ оптическимъ явленіямъ; ибо еслибы свѣтъ отъ источника своего — солнца — падалъ на нашъ глазъ только по прямой линіи, то остальную часть неба мы должны бы были видѣть совершенно темною какъ ночью; но такъ какъ она кажется голубою, то это можетъ произойти только отъ измѣненія направленія солнечныхъ лучей; и мы уже видѣли изъ поляризаціи этого свѣта, что это измѣненіе происходитъ чрезъ отраженіе (§ 193). Слѣд. воздушные слои отражаютъ преимущественно голубые лучи солнечнаго свѣта; изъ этого слѣдуетъ, что проходящіе черезъ эти слои лучи

должны содержать излишекъ красныхъ и что солнце и луна должны казаться красноватыми, когда лучи ихъ проходятъ черезъ длинные слои воздуха; такимъ образомъ изъясняется красный цвѣтъ небесныхъ тѣлъ, находящихся на горизонтѣ. Мы уже видѣли прежде (§ 172), что увеличенный ихъ діаметръ есть только слѣдствіе оптическаго обмана.

2 *Радуга.*

§ 196.

Одинъ изъ самыхъ разительныхъ оптическихъ феноменовъ въ нашей атмосферѣ есть *радуга*. Мы видимъ ее тогда, когда стоимъ спиною къ солнцу и передъ нами въ нѣкоторомъ разстояніи находится облако, изъ котораго идетъ дождь. По этому уже вѣроятно, что прекрасные цвѣты ея должны происходить отъ преломленія солнечныхъ лучей въ дождевыхъ капляхъ и точное изслѣдованіе пути солнечнаго луча въ такой каплѣ удостовѣряетъ насъ въ этомъ еще больше. Для простоты представимъ себѣ прежде, что солнце находится въ горизонтѣ, такъ что лучи его горизонтально падаютъ на дождевое облако. Лучь SA (фиг. 256), падающій на каплю въ точкѣ A, по извѣстному закону преломленія будетъ отклоненъ къ B; здѣсь одна часть его выйдетъ изъ капли, другая отразится въ D, а при выходѣ опять раздѣлится на 2 части, изъ которыхъ одна отражена будетъ во внутренность капли, а другая выйдетъ въ направленіи DC и достигнетъ до глаза наблюдателя въ C. Слѣд. лучь отклоненъ будетъ отъ своего пути на тупой уголъ GFC и дойдетъ такимъ образомъ до глаза. При этомъ видно, что онъ значительно ослабляется двоякимъ преломленіемъ (при которомъ всегда одна часть его отра-

жается) и однократнымъ отраженіемъ въ B (при чемъ одна часть его проходитъ). Но есть еще другая причина, которая производитъ еще большее ослабленіе отклоненнаго свѣта. Если мы прямо смотримъ на солнце, то отъ каждой точки его на нашъ глазъ упалъ бы цилиндръ лучей, діаметръ котораго былъ бы равенъ діаметру нашего зрачка. Если же этотъ цилиндръ лучей упадетъ на каплю такъ, какъ SA, дабы потомъ достигнуть до нашего глаза, то очевидно, что различные лучи упадутъ подъ весьма различными углами (фиг. 247) и поэтому, какъ показано въ фигурѣ, такъ различно будутъ отклонены, что только одинъ изъ всѣхъ падающихъ на каплю лучей достигнетъ до нашего глаза C, между тѣмъ какъ число всѣхъ падающихъ было, можетъ быть, 1000. Итакъ изъ всего свѣта, ослабленнаго уже черезъ преломленіе и отраженіе, въ нашъ глазъ доходитъ только $\frac{1}{1000}$ его. Но вычисленіе показываетъ, что есть извѣстный уголъ паденія, при которомъ малое измѣненіе въ углѣ паденія не производитъ никакого измѣненія въ углѣ отклоненія, такъ что цилиндръ свѣта падающаго на каплю въ этомъ направленіи, выходитъ изъ нее опять какъ цилиндръ. Это бываетъ при горизонтальномъ паденіи лучей для красныхъ лучей тогда, когда уголъ FCH (фиг. 246) $=42$, для фіолетовыхъ $=40^1/_4$. Такой лучь выходящій опять въ видѣ цилиндра называется *дѣятельнымъ лучемъ*; онъ производитъ на глазъ сильное впечатлѣніе. Итакъ наблюдатель, находящійся въ O (фиг. 248), увидитъ въ каплѣ R дѣятельный красный лучь, въ каплѣ, дѣятельный фіолетовый, а между ними дѣятельные лучи оранжевые, желтые, зеленые и проч., т. е. онъ увидитъ призматическое изображеніе вверху краснаго и внизу фіолетоваго цвѣта на высотѣ около 41^0. Если представимъ себѣ, что

RO обращается около горизонтальной линіи SC какъ около оси, то мы получимъ дугу HRK, въ которой капли расположены такъ, что отъ нихъ доходятъ въ глазъ лучи подъ тѣми же обстоятельствами, слѣд. также дѣятельные, какъ RO; такимъ же образомъ дуга MVN даетъ дѣятельные фіолетовые лучи. Итакъ глазъ увидитъ вверху красную, внизу фіолетовую дугу, а между ними всѣ призматическіе цвѣты. Ширина каждой дуги равна видимому діаметру солнца, потому что каждая точка солнца даетъ отдѣльную радугу; ширина всей радуги по этому выходитъ $2^{0}1/_4$, что совершенно согласно съ самымъ явленіемъ.

Если солнце находится выше надъ горизонтомъ, напр. на 10^0, то линія S'C встрѣтитъ сводъ небесный ниже горизонта на 10^0 и такъ какъ красная дуга отстоитъ отъ C всегда на 42^0, то наибольшая высота радуги R надъ горизонтомъ будетъ только $42-10=32^0$. По этому радугу нельзя видѣть, когда солнце будетъ стоять выше 42, что также согласно съ опытомъ.

Часто видна бываетъ еще другая радуга надъ первою; она происходитъ также какъ первая отъ преломленія солнечныхъ лучей въ дождевыхъ капляхъ, но въ ней лучи 2 раза отражаются въ каплѣ, какъ показываетъ фиг. 249. Дѣятельные красные лучи являются здѣсь тогда, когда уголъ $ROC=60^0$, слѣд. эта радуга кажется выше первой; въ ней фіолетовый лучь отклоняется больше, нежели красный, т. е. въ ней фіолетовый цвѣтъ находится вверху, а красный внизу. Если измѣримъ ширину, высоту и взаимное разстояніе радугъ, то найдемъ что всѣ эти величины точно согласуются съ вычисленіемъ, что служитъ доказательствомъ справедливости теоріи.

3. *Круги около солнца и луны и ложны солнца.*

§ 197.

Когда небо не совершенно чисто, то часто около солн-

ца и луны видны свѣтлые круги, особенно чаще около луны, потому что блескъ солнечныхъ лучей не позволяетъ намъ видѣть этого явленія около солнца, если не ослабимъ свѣта его посредствомъ тусклаго стекла или если онъ не будетъ ослабленъ отъ пасмурности неба. Явленіе иногда бываетъ въ видѣ *кольца*, иногда въ видѣ *круга* около луны. *Кольцо* непосредственно окружаетъ луну; иногда въ немъ видны ясно цвѣты, иногда они такъ перемѣшаны, что едва замѣтны; но всегда *синеватый край лежитъ ближе къ центру*, *красноватый же дальше отъ него*. Этимъ доказывается что явленіе это происходитъ не отъ преломленія, но отъ уклоненія свѣта (§ 185), именно отъ уклоненія производимаго водяными шариками или пузырьками, изъ которыхъ состоятъ облака. Чѣмъ меньше эти шарики, тѣмъ больше діаметръ кольца, такъ что на оборотъ изъ діаметра кольца можно заключить о величинѣ облачныхъ шариковъ. Что причина этого явленія есть уклоненіе свѣта доказывается опытомъ, въ которомъ пропускаютъ солнечный лучь между многими стеклянными шариками или свѣтъ обыкновенной свѣчи черезъ стекло, отуманенное дыханіемъ; въ обоихъ случаяхъ видны подобныя кольца. Чѣмъ однообразнѣе величина шариковъ, тѣмъ чище бываютъ цвѣты, точно такъ, какъ при диффракціи черезъ круговыя рѣшетки.

Круги, которые окружаютъ солнце и луну концентрически, бываютъ двоякого рода; оба всегда имѣютъ опредѣленный діаметръ на небѣ, но діаметръ однаго$=44^0$, другаго $=88^0$. Они являются тогда, когда свѣтъ обоихъ небесныхъ тѣлъ проходитъ чрезъ такъ называемыя *перистыя* облака, т. е. черезъ самыя тонкія и высокія облака, которыя кажутся состоящими изъ параллельныхъ бѣлыхъ нитей. Также и въ этихъ кругахъ оказываются цвѣты, изъ которыхъ

красный внутри, а фіолетовый внѣ; слѣд. фіолетовый отклоняется больше; изъ этого мы заключаемъ, что явленіе это происходитъ отъ преломленія свѣта. Оно совершенно объясняется преломленіемъ лучей свѣта въ трехсторонних призмахъ, которыхъ разрѣзъ представляетъ равносторонній треугольникъ. Но это есть форма кристаллизаціи воды, по этому можно допустить, что перистыя облака состоятъ не изъ водяныхъ шариковъ, но изъ весьма тонкихъ ледяныхъ иголочекъ, какъ это и вѣроятно по причинѣ большой высоты, на которой они находятся.

Явленіе *ложныхъ солнцевъ* рѣдко бываетъ видимо и только во время сильныхъ моровъ. Въ совершенномъ видѣ это явленіе состоитъ въ слѣдующемъ: Если ALBH (фиг. 250) представляетъ небесный сводъ видимый сверху, гдѣ слѣд. Z есть зенитъ, и если солнце находится въ S, то во первыхъ видно бѣлое горизонтальное кольцо SFKG, въ которомъ находится солнце, далѣе такое же вертикальное полу-кольцо ASZB, проходящее черезъ зенитъ и солнце; оба кольца безцвѣтны. Кромѣ того являются еще цвѣтные круги, о которыхъ мы уже говорили, CD и FG. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ два круга пересѣкаются въ особенности въ C, D, F, G и K свѣтъ бываетъ ярче и образуетъ такъ называемыя *ложныя солнца*. Происхожденіе горизонтальныхъ и вертикальныхъ колецъ объясняютъ отраженіемъ свѣта отъ внѣшнихъ поверхностей ледяныхъ иголъ; это оправдывается и совершенною безцвѣтностію ихъ. Однако объясняютъ это явленіе и уклоненіемъ свѣта. Обыкновенно этотъ феноменъ является не во всемъ блескѣ, потому что ледяные кристаллы, которые производятъ его, не находятся во всѣхъ направленіяхъ. Если же видъ всего явленія мы твердо держимъ въ памяти, то легко можно узнать, какую часть

его мы видимъ. Иногда напр. видимъ, что черезъ солнце проходитъ свѣтящійся крестъ; онъ есть часть горизонтальнаго и вертикальнаго колецъ SFKG и ASZB, проходящихъ непосредственно черезъ солнце. Иногда по обѣ стороны солнца являются вертикальные цвѣтные столбы иногда по одному, иногда по два съ каждой стороны; это суть тѣ части обоихъ колецъ CD и FG, которыя имѣютъ вертикальное направленіе и т. д. Весьма рѣдко замѣчаютъ это явленіе еще въ сложнѣйшемъ видѣ, нежели какъ мы его описали; такъ напр. Гевеліусъ видѣлъ и описалъ его; тогда мы еще менѣе находимся въ состояніи изъяснить его во всѣхъ подробностяхъ, но всегда различный видъ и различное положеніе ледяныхъ кристалловъ можно считать за причину происхожденія его.

Наконецъ къ оптическимъ явленіямъ въ нашей атмосферѣ можно причислять еще *сѣверное сіяніе*—феноменъ, который главнѣйше состоитъ въ слѣдующемъ: въ сѣверной части AB горизонта (фиг. 251), у насъ въ С. Петербургѣ немного къ западу, показывается на небѣ темный сегментъ MPN, сверху ограниченный свѣтлою дугою ACBNPM, которая на нижней сторонѣ своей довольно рѣзко отдѣляется отъ темнаго сегмента, но вверху нечувствительно переходитъ въ цвѣтъ неба. Свѣтъ дуги есть бѣловатый и спокойный. Когда сѣверное сіяніе становится сильнѣе, то изъ дуги прямо къ зениту поднимаются свѣтлые столбы съ волнующимся свѣтомъ, и часто оттѣняемые цвѣтами: краснымъ, синимъ и зеленымъ. У насъ обыкновенно эти столбы не достигаютъ до зенита; но если иногда сѣверное сіяніе бываетъ очень сильно, то столбы переходятъ даже черезъ зенитъ и недалеко отъ него къ югу соединяются въ одно свѣтлое кольцо, которое называется *вѣнцомъ* сѣвернаго сіянія. Тогда столбы постоянно бываютъ видимы и отъ нихъ весь почти небесный сводъ кажется объятымъ огнемъ;

столбы поднимаются не только изъ свѣтлой дуги, но и изъ темнаго сегмента, такъ что отъ этого первоначальныя явленія т. е. свѣтлая дуга и темный сегментъ, совершенно исчезаютъ. Наконецъ столбы становятся слабѣе и выходятъ рѣже пока напослѣдокъ совершенно прекращаются и съ этимъ все явленіе оканчивается. Говорятъ будто иногда восхожденіе столбовъ соединено съ особеннымъ шумомъ; впрочемъ это наблюдаемо было очень рѣдко.

Объясненіе этого явленія, принадлежащаго въ полномъ блескѣ своемъ къ самымъ великолѣпнымъ, еще совершенно для насъ не извѣстно; много придумано гипотезъ для этого, но всѣ онѣ до сихъ поръ оказываются недостаточными.

ОТДѢЛЕНІЕ ВТОРОЕ.

О ТЕПЛОРОДѢ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

РАСШИРЕНІЕ ТѢЛЪ ОТЪ ТЕПЛОТЫ.

§ 198.

Существованіе теплоты самымъ простымъ образомъ мы узнаемъ посредствомъ ощущенія въ каждой части нашего тѣла, которое вообще одарено чувствами и всякой знаетъ изъ опыта, какого рода это ощущеніе. За причину этого ощущенія принимаютъ особенное вещество именуемое *теплородомъ*. По причинѣ удобнаго движенія его изъ одного тѣла въ другое мы представляемъ его себѣ какъ жидкость и такъ какъ тѣла при нагрѣваніи не измѣняютъ своего вѣса, то теплородъ есть *жидкость невѣсомая*.

Всеобщее дѣйствіе теплорода есть расширеніе тѣлъ, состоящее въ томъ, что каждое тѣло, когда оно дѣлается теплѣе, принимаетъ большій объемъ, нежели прежде. Мы можемъ доказать расширеніе тѣлъ, которое такъ незначительно, что не можетъ быть замѣчено при первомъ взглядѣ, слѣдующими тремя опытами для твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлъ.

Для твердыхъ тѣлъ возмемъ мѣдный шаръ такой величины, что онъ при обыкновенной температурѣ комнаты ровно проходитъ въ мѣдное кольцо; потомъ погрузимъ его въ кипятокъ, вынемъ его и положимъ опять на кольцо; мы увидимъ, что онъ теперь не пройдетъ чрезъ него, но будетъ лежать на немъ. Если оставимъ его въ этомъ положеніи, то онъ мало по малу потеряетъ часть теплоты, заимствованной имъ отъ кипятка, отъ этого онъ будетъ дѣлаться меньше и меньше, пока наконецъ упадетъ сквозь кольцо.

Для доказательства расширенія *жидкихъ тѣлъ* отъ теплоты, возмемъ стеклянный шаръ A, къ которому присоединена трубка AB, оба наполненные жидкостію до C (фиг. 252). Если возьмемъ стеклянный шаръ въ руку, отъ чего онъ и заключенная въ немъ жидкость нагрѣются, то увидимъ, что при C жидкость тотчас станетъ подниматься; такъ какъ діаметръ трубки гораздо менѣе діаметра шара, то легко видно, что отъ малѣйшаго увеличенія объема жидкости въ шарѣ должно послѣдовать значительное повышеніе ея въ трубкѣ. Этотъ опытъ показываетъ вмѣстѣ, что жидкость расширяется гораздо болѣе стекла, изъ котораго состоитъ шаръ. Въ самомъ дѣлѣ такъ какъ стекло шара нагрѣвается прежде и во всякомъ случаѣ скорѣе, нежели внутренняя часть жидкости, то объемъ шара долженъ также сдѣлаться больше и слѣд. отъ этого жидкость въ трубкѣ должна бъ понижаться, еслибъ отъ собственнаго расширенія, которое гораздо значительнѣе, она не повысилась, такъ что пониженіе ея отъ расширенія стекла во все не замѣтно. Въ этомъ можно убѣдиться, если взять стеклянный шаръ нѣсколько толще, при чемъ онъ нагрѣвается скорѣе жидкости значительнымъ промежуткомъ времени. Когда возмемъ его въ руку, то сперва жидкость въ

*

самомъ дѣлѣ понижается въ трубкѣ, но потомъ, когда и самая жидкость нагрѣется, то она скоро начинаетъ повышаться.

Расширеніе *газообразныхъ тѣлъ* также можно доказать какъ и расширеніе жидкихъ тѣлъ, если въ шарѣ А будетъ находиться воздухъ, а восходящая трубка BCD (фиг. 253) будетъ наполнена жидкостію, обыкновенно окрашенною краснымъ цвѣтомъ; когда возмемъ въ руку шаръ, то жидкость BC будетъ быстро подниматься. Изъ большой скорости, съ которою поднимается жидкость, мы уже узнаемъ, что расширеніе воздуха еще болѣе расширенія воды или вообще всѣхъ жидкостей. Именно этимъ сильнымъ расширеніемъ пользуются для приготовленія нашего прибора; въ самомъ дѣлѣ если трубку съ шарикомъ сперва пустую возмемъ въ руку, то воздухъ въ А будетъ нагрѣтъ, расширится и нѣкоторая часть его выдетъ вонъ изъ конца трубки D; потомъ переворотимъ приборъ, погрузимъ D въ жидкость, которою хотимъ наполнить трубку и отнимемъ руку отъ А. Воздухъ въ А потеряетъ большую часть своей теплоты, слѣд. сожмется; по этому въ DC, отъ внѣшняго давленія воздуха, жидкость войдетъ въ трубку и поднимется до тѣхъ поръ, пока давленіе воздуха въ А, при равной температурѣ со внѣшнимъ, достигнетъ одинаковой упругости съ нимъ.

Такимъ образомъ и приборъ AB (фиг. 252) наполняется жидкостію. Пустой шаръ А сильно нагрѣваютъ на лампѣ, потомъ оборачиваютъ приборъ и погружаютъ открытый конецъ В въ жидкость, которою хотятъ наполнить шаръ. При охлажденіи въ А воздуха, котораго теперь осталось не много по причинѣ сильнаго нагрѣванія А, большая часть шарика наполняется жидкостію втѣсняемою внѣшнимъ воздухомъ. Послѣ этого приборъ

ставятъ опять прямо, какъ въ фигурѣ, нагрѣваютъ жидкость до кипѣнія и обращаютъ опять конецъ В въ жидкость; при охлажденіи шарикъ совершенно наполняется; причина этого состоитъ въ томъ, что при кипѣніи жидкости выходящіе изъ нея пары вытѣсняютъ изъ трубки послѣдній воздухъ, а сами при охлажденіи опять превращаются въ жидкость, какъ мы скоро увидимъ.

§ 199.

Расширеніемъ тѣлъ отъ теплоты пользуются при опредѣленіи степени нагрѣванія посредствомъ прибора весьма извѣстнаго подъ именемъ *термометра*. Самый обыкновенный и во многихъ случаяхъ лучшій есть термометръ ртутный. Онъ состоитъ изъ шарика съ трубкою какъ приборъ AB (фиг. 252); жидкость содержащаяся въ немъ есть ртуть. Когда ртуть опущена будетъ въ трубку по способу, изложенному въ предъидущемъ параграфѣ, то нагрѣваютъ шаръ до тѣхъ поръ, пока ртуть расширится до конца В трубки и въ это мгновеніе запаиваютъ этотъ конецъ. Если потомъ дадимъ ртути въ шарикѣ охладиться, то получимъ въ ней отъ В до С пустое пространство. Оно полезно потому, что если бы въ трубкѣ находился воздухъ, то при перемѣщеніи термометра воздухъ вошелъ бы въ ртуть и раздѣлилъ ее на маленькіе столбики. Впрочемъ упругость остающагося въ трубкѣ воздуха не препятствуетъ расширенію ртути, потому что сила расширенія не сравненно болѣе упругости.

Подготовивши такимъ образомъ термометръ погружаютъ его въ сосудъ со снѣгомъ, который ставятъ въ теплой комнатѣ для того, чтобы онъ началъ таять. Тогда находятъ, что ртуть термометра въ трубкѣ понижается до

опредѣленной точки. Эту высоту означаютъ чертою на металлической, иногда на деревянной доскѣ — *шкалѣ*, къ которой прикрѣплена стеклянная трубка. Потомъ вынимаютъ термометръ изъ снѣга и погружаютъ его въ жестяной сосудъ PQ (фиг. 254), оканчивающійся на верху жестяною трубкою KL, въ которой виситъ термометръ BA. Въ сосудѣ до MN находится вода, которую кипятятъ посредствомъ лампы C; пары поднимающіеся изъ воды выходятъ черезъ трубку F. Когда вода совершенно кипитъ, то термометръ съ своимъ шарикомъ и всею трубкою находится въ парахъ кипящей воды и тогда оказывается, что ртуть термометра поднимается опять до извѣстной высоты и потомъ остается неподвижно на этой точкѣ. Эту высоту ртути термометра опять означаютъ чертою на шкалѣ; такимъ образомъ получаютъ на ней двѣ черты, отстоящія одна отъ другой на извѣстное пространство. Эти черты называются *постоянными точками* термометра, потому что, гдѣ бы ихъ не опредѣляли описаннымъ образомъ, вездѣ соотвѣтствуютъ имъ одинаковыя температуры, именно температура *тающаго льда или замерзанія* и температура *кипѣнія воды*. Очевидно, что когда отношеніе діаметра шара къ діаметру трубки измѣняется, то измѣняется и разстояніе между этими точками; оно будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше отношеніе діаметра шарика къ діаметру трубки. Это разстояніе между постоянными точками раздѣляютъ на опредѣленное число равныхъ частей, называемыхъ *градусами термометра*, у насъ напр. на 80, во Франціи на 100. При температурѣ тающаго льда ставятъ 0, при температурѣ кипящей воды у насъ 80, во Франціи 100. Употребительное у насъ дѣленіе называется Реомюровымъ, а другое Цельзіевымъ, по именамъ Физиковъ, употребившихъ оныя въ первый разъ. Наконецъ въ Ан-

гліи употребительно еще 3 дѣленіе — Фаренгейтово, гдѣ разстояніе между двумя постоянными точками раздѣлено на 180 частей, но при точкѣ замерзанія поставлено 32, а при точкѣ кипѣнія воды 212. Ниже точки замерзанія продолжаютъ подобныя дѣленія до самаго шарика, также и выше точки кипѣнія. Въ термометрахъ Реомюровомъ и Цельзіевомъ ниже 0 дѣленія считаются опять также какъ и вверху, но только эти градусы означаются знакомъ —, между тѣмъ, какъ выше точки замерзанія они означаются знакомъ +. Въ Фаренгейтовомъ дѣленіи градусы отъ 32 уменьшаются до 0, а потомъ уже начинаются отрицательные знаки. Слѣд. здѣсь ниже точки замерзанія, находятся еще 32 положительные градуса. Далѣе точки кипѣнія считаются въ Реомюровомъ $81^0, 82^0$ и проч. Въ фиг. 255 видны всѣ три шкалы одна подлѣ другой.

Такимъ образомъ два термометра напр. раздѣленные по Реомюру, могутъ быть точно сравнены между собою, гдѣ бы они ни были приготовлены. Если напр. нашъ термометръ показываетъ 20^0, а другой на другомъ мѣстѣ тоже 20^0, то мы знаемъ, что оба находятся въ одной и тойже температурѣ, не смотря на то, что градусы ихъ по величинѣ различны по причинѣ различнаго отношенія діаметра трубокъ къ діаметру шариковъ.

Если мы наблюдаемъ по термометру Реомюра, а другой наблюдатель по термометру Цельзія или Фаренгейта, то весьма простое вычисленіе показываетъ, какимъ образомъ температуру тѣхъ термометровъ отнести къ температурѣ нашего. Для сравненія Реомюрова термометра съ Цельзіевымъ припомнимъ, что одно и тоже измѣненіе температуры отъ точки замерзанія до точки кипѣнія раздѣлено у Реомюра на 80, а у Цельзія на 100 частей,

слѣд. одно дѣленіе Цельзія равно $\frac{8}{10}$ Реомюра; чѣмъ меньше дѣленіе, тѣмъ большее число ихъ содержится въ одномъ и томъ же измѣненіи температуры, слѣд. если *Реомюръ* означаемъ чрезъ R, *Цельзій* чрезъ C,

то будетъ $n^0 R = \frac{10.n^0}{8}$ C. напр. 24^0 R $= 30^0$ Цельзія

$n^0 C = \frac{8 \cdot n^0}{10}$ R. напр. 24^0 C $= 19^0,2$ R.

Натурально вмѣсто $^8/_{10}$ можно бы было взять $^4/_5$; но такъ какъ температуры обыкновенно выражаются въ десятыхъ доляхъ, то вычисленіе съ первою дробью бываетъ проще.

У Фаренгейта (F) тоже самое пространство раздѣлено на 180, которое у Реомюра на 80, а у Цельзія на 100 частей; слѣд. 1^0 Фаренгейта $= {}^4/_9$ R и $^5/_9$ Цельзія. Но кромѣ того числа Фаренгейтова дѣленія увеличены на 32, ибо это число соотвѣтствуетъ 0 другихъ термометровъ. Слѣд. мы будемъ имѣть:

$n^0 F = \left(4\frac{(n-32)}{9}\right)^0 R = \left(5\frac{(n-32)}{9}\right)^0$ C. напр. $67^0 F = 15^0,5 R = 19^0,4 C$.

$n^0 R = \left(32 + \frac{9}{4} \cdot n\right)^0 F$ напр. 20^0 R $= 77^0$ F.

$n^0 C = \left(32 + \frac{9n}{5}\right)^0 F$ напр. 20^0 C $= 68^0$ F.

Такимъ образомъ устроены ртутные термометры для того, чтобы они дали результаты удобосравниваемые. Но чтобъ показанія термометровъ были вѣрны во всей строгости, нужно принимать въ разсужденіе еще нѣкоторыя обстоятельства. Хотя точка таянія снѣга или точка замерзанія во всей строгости есть постоянная температура, но о точкѣ кипѣнія воды нельзя сказать этого. Вода кипитъ тѣмъ легче, чѣмъ меньше воздушное давленіе на поверх-

ность ея; слѣд. точка кипѣнія воды будетъ соотвѣтствовать тѣмъ высшей температурѣ, чѣмъ больше въ это время высота барометра и для полученія опредѣленной температуры нужно находить точку кипѣнія при опредѣленной, впрочемъ произвольной, высотѣ барометра. Французы принимаютъ за эту высоту 760 миллим., Англичане какъ и мы обыкновенно 30 дюймовъ, которая длина почти равна 762^{mm}; слѣд. въ этомъ случаѣ приготовленный у насъ термометръ даетъ температуру нѣсколько меньшую, нежели Французской термометръ, однако разность эта такъ незначительна, что ее можно обыкновенно пренебрегать. Именно точка кипѣнія въ Реомюровомъ термометрѣ измѣняется на $0,028^0$, когда высота барометра измѣняется на 1^{mm}, такъ что разность 2^{mm} даетъ разность термометровъ только на $^1/_{20}{}^0$ при самой точкѣ кипѣнія и слѣд. еще менѣе при другихъ температурахъ обыкновенно наблюдаемыхъ. Если при приготовленіи термометра барометръ стоитъ не при нормальной высотѣ, то можно посредствомъ вычисленія изъ наблюдаемой высоты найти настоящую точку кипѣнія и такимъ образомъ повѣрить свой термометръ.

Другое обстоятельство, имѣющее вліяніе на вѣрность термометра, есть видъ тонкой трубки. Если она не совершенно цилиндрическая, но напр. внизу уже, нежели вверху, то при одномъ и томъ же расширеніи ртуть поднимается выше въ нижнихъ частяхъ трубки, нежели въ верхнихъ. Слѣд. вверху градусы должны быть сдѣланы меньше нежели внизу, для того чтобъ равнымъ расширеніямъ соотвѣтствовало равное число градусовъ. По этому лучше прежде, нежели трубка употреблена будетъ на термометръ, повѣрить цилиндрическій видъ ея, вводя въ нее каплю ртути, которая принимаетъ видъ столбика и измѣ-

рія длину его въ различныхъ мѣстахъ трубки; если столбикъ вездѣ имѣетъ одинаковую длину, то трубка вездѣ имѣетъ одинаковую ширину; еслиже не вездѣ длина его одинакова, то тамъ гдѣ столбикъ длиннѣе, трубка уже. Такимъ образомъ можно выбирать для себя хорошую трубку. Впрочемъ Физикамъ удалось исправить недостатокъ несовершенно цилиндрической трубки и тогда, когда термометръ уже приготовленъ.

§ 200.

Если одинъ термометръ наполнимъ водою, другой виннымъ спиртомъ, третій масломъ и пр., потомъ опредѣлимъ на каждомъ изъ нихъ точку замерзанія и потомъ еще другую точку напр. 40°, по сравненіи съ ртутнымъ термометромъ; потомъ раздѣлимъ пространство между сими точками на 40° и станемъ подвергать всѣ три термометра различнымъ температурамъ, то найдемъ, что они ни при какой другой температурѣ не согласуются. Изъ этого слѣдуетъ, что жидкости расширяются не пропорціонально увеличенію тепла. Если тотъ же опытъ сдѣлаемъ съ газами въ приборѣ, подобномъ описанному выше въ § 198, то найдемъ что газообразныя тѣла расширяются одинаково, какъ бы они различны ни были по химическимъ составнымъ частямъ своимъ. Такъ напр. водородъ, который въ 14 разъ легче воздуха, расширяется совершенно также, какъ воздухъ и также какъ углекислота, еще тяжелѣйшая воздуха. Изъ этого заключаемъ, что расширеніе газовъ есть дѣйствіе одной теплоты и не зависитъ отъ природы вещественныхъ частицъ, какъ это замѣчается въ жидкихъ и твердыхъ тѣлахъ. По этому воздушный термометръ собственно есть истинная мѣра теплоты. Однако найдено, что

ртутные термометры между постоянными точками, и даже ниже 0 до — 20°, также показываютъ температуру какъ и воздушные и только при температурахъ высшихъ точки кипѣнія расширеніе ртути становится больше нежели прежде; слѣд. между предѣлами — 20° и 80° и ртутные термометры можно считать за совершенные. Основываясь на этомъ можно наблюдаемые градусы другаго термометра, напр. термометра изъ алькоголя, привести къ истиннымъ, сравнивая ихъ съ ртутнымъ при различныхъ температурахъ и такимъ образомъ получить исправленный спиртовой термометръ. Это важно въ тѣхъ случаяхъ, когда термометръ подвергается весьма низкимъ температурамъ, потому что ртуть при — 32°R замерзаетъ, и отъ этого ртутный термометръ дѣлается неспособнымъ къ употребленію. Но до сихъ поръ еще незамѣчено чтобъ чистый алькооль замерзалъ.

Для опредѣленія температуръ высшихъ точки кипѣнія также служитъ ртутный термометръ, только съ поправкою, потому что расширеніе ртути за этимъ предѣломъ больше нежели было прежде; но выше 250° и этотъ термометръ не годится потому, что здѣсь ртуть приближается къ точкѣ кипѣнія, которую наблюдали при 288°. Для температуръ еще высшихъ употребляется лучше всего воздушный термометръ, въ которомъ шарикъ сдѣланъ изъ платины для того, чтобъ онъ могъ противиться высшимъ температурамъ. Для этихъ случаевъ употребляются также термометры основывающіеся на расширеніи платиновыхъ прутовъ. Прежде преимущественно употребляли термометры другаго рода, которые по имени изобретателя названы Веджвудовыми, основывающіеся на свойствѣ нѣкоторыхъ родовъ глины сжиматься въ сильномъ жару отъ начала плавленія; изъ мѣры сжатія заключаютъ о степени жара, которому подвержена была глина; но въ по-

вѣйшія времена узнали не точность показаній этого прибора. Термометры, употребляемые для температуръ превышающихъ точку кипѣнія ртути называются *пирометрами*.

Наконецъ въ тѣхъ опытахъ, гдѣ требуется сравнить между собою двѣ температуры мало разнящіяся, употребляется такъ называемый *дифференціальный термометръ*. Онъ состоитъ изъ двухъ полыхъ стеклянныхъ шариковъ A и B (фиг. 256), соединенныхъ изогнутою стеклянною трубкою CD. Весь приборъ наполненъ воздухомъ, только въ *m* находится капля окрашенной въ красный цвѣтъ сѣрной кислоты; которая раздѣляетъ воздухъ на двѣ половины. Если температура обоихъ шариковъ одинакова, то капля находится по срединѣ горизонтальной трубки CD, гдѣ на прикрѣпленной шкалѣ стоитъ 0; если же одинъ изъ нихъ напр. A будетъ теплѣе, то капля подвинется къ B и по причинѣ большой расширяемости воздуха происходитъ значительное движеніе капли отъ малѣйшей разности между температурами шариковъ A и B. Дабы источникъ теплоты, дѣйствующій на A не имѣлъ вліянія на B, между обоими шариками ставится экранъ MN. Если зимою поставить такой термометръ съ экраномъ, такъ чтобы шарикъ A обращенъ былъ къ окошку, а другой B во внутренность комнаты, то движеніе къ A тотчасъ покажетъ охлаждающее вліяніе холодной стѣны комнаты.

§ 201.

Узнавши какъ измѣряется температура, займемся опредѣленіемъ расширенія различныхъ тѣлъ для извѣстнаго повышенія температуры, напр. отъ 0 до 80 R, т. е. между постоянными точками термометра. Для этого нужно

прежде знать различіе между *расширеніемъ линѣйнымъ* и *кубическимъ*. Если на концахъ металлическаго прута сдѣлаемъ двѣ черты, которыхъ разстояніе измѣрено въ то время, когда прутъ находился при температурѣ 0, потомъ положимъ его въ кипящую воду и тогда опредѣлимъ длину его при 80^0, то найдемъ, что длина его (которую мы выразимъ въ дюймахъ) увеличилась разностію обѣихъ длинъ; эту разность означимъ чрезъ D. И такъ *линѣйное расширеніе* прута или расширеніе въ одномъ измѣреніи между постоянными точками будетъ D. Если длину прута при 0 означимъ чрезъ L дюймовъ, то L дюймовъ расширилось на D дюймовъ; отсюда находимъ, что каждый дюймъ его расширился на $\frac{D}{L}$. Если такимъ образомъ мы знаемъ расширеніе каждаго дюйма (или вообще при другой мѣрѣ, расширеніе единицы ея), то для каждой длины прута при 0, сдѣланнаго изъ тогоже металла, мы можемъ найти длину ея при температурѣ точки кипѣнія, умножая расширеніе одного дюйма на длину прута, и прикладывая эту величину къ длинѣ прута при 0. Найдено, что линейное расширеніе металловъ отъ 0 до 10^0 равно расширенію отъ 40 — 50, отъ 70 — 80; слѣд. изъ расширенія между постоянными точками мы найдемъ расширеніе для 1^0, раздѣляя первое на 80. Если найденную такимъ образомъ величину назовемъ Δ, длину прута при о означимъ черезъ L, то эта длина для n^0 или L_n будетъ:

$$L_n = L\ (1 + \Delta n).$$

Такъ напр. для желѣза расширеніе между 0 и 80 равно $\frac{1}{860}$, слѣд. $\Delta = \frac{1}{68800}$. Если желѣзная дорога имѣющая въ длину 25 верстъ, сдѣлана при температурѣ 0, такъ чтобы одинъ рельсъ плотно касался къ другому и если потомъ она будетъ подвержена температурѣ 20^0, то дли-

на всей дороги сдѣлалась бы больше на $\frac{25.20}{68800}$ верстъ, т. е. на 26 футовъ. Дабы избѣжать этого измѣненія длины дороги, рельсы кладутъ такъ, что они не плотно касаются другъ друга, но между ними находится весьма малое пространство, въ которомъ каждый рельсъ можетъ расширяться отдѣльно.

Теперь ежели въ прутѣ каждая единица длины расширяется для одного градуса на Δ, то каждая единица ширины и толщины расширится на столько же. Если объемъ прута при 0 означимъ чрезъ V, то при другомъ градусѣ n^0 онъ сдѣлается другимъ, который мы означимъ чрезъ V_n Измѣненіе объема $V_n - V$ называется *кубическимъ расширеніемъ.* Ибо какъ прутъ при обѣихъ температурахъ сохраняетъ одинъ и тотъ же видъ, то объемы ихъ по правиламъ Стереометріи будутъ содержаться какъ кубы линѣйныхъ мѣръ, слѣд. если линѣйная единица отъ увеличенія температуры на n^0 перемѣнилась въ $1 + \Delta n$, то для объемовъ мы получаемъ пропорцію:

$$V : V_n = 1^3 : (1 + \Delta n)^3 = 1 : 1 + 3\Delta n + 3\Delta^2 n^2 + \Delta^3 n^3.$$

Такъ какъ Δ всегда есть весьма малая дробь для твердыхъ тѣлъ (для цинка, который изъ твердыхъ тѣлъ расширяется больше всѣхъ, $\Delta = \frac{1}{27040}$) то и Δn остается весьма малымъ, и квадраты и кубы этой величины будутъ такъ малы, что они совершенно могутъ быть пренебрежены; слѣд. вмѣсто $1 + 3\Delta n + 3\Delta^2 n^2 + \Delta^3 n^3$ мы получимъ просто:

$$V_n = V(1 + 3\,\Delta\,n).$$

Такъ что коеффиціентъ для кубическаго расширенія получается изъ линѣйнаго Δ, если послѣднее умножимъ на 3.

Въ жидкихъ и газообразныхъ тѣлахъ всегда уже при самомъ опытѣ опредѣляется кубическое расширеніе.

§ 202.

Къ твердымъ тѣламъ, расширяющимся больше всѣхъ отъ нагрѣванія принадлежатъ металлы, но и здѣсь расширеніе весьма различно для различныхъ металловъ. Такимъ образомъ между постоянными точками расширеніе:

для серебра	$= \frac{1}{526}$	для платины	$= \frac{1}{1016}$
— золота	$= \frac{1}{653}$	— латуни	$= \frac{1}{529}$
— цинка	$= \frac{1}{338}$	— стекла	$= \frac{1}{1111}$
— желѣза	$= \frac{1}{860}$	— льда	$= \frac{1}{408}$
— стали	$= \frac{1}{769}$	— сосн. дер.	$= \frac{1}{1661}$

На этомъ основывается устройство такъ называемыхъ металлическихъ термометровъ, изъ которыхъ извѣстнѣйшій есть термометръ Брегета. Онъ состоитъ изъ спирали AB, (фиг. 257), сдѣланной изъ тонкой металлической пластинки наматанной на цилиндръ, который послѣ вынимается изъ спирали, когда она имѣетъ надлежащую форму. Металлическая же пластинка во всей длинѣ своей состоитъ изъ трехъ спаянныхъ вмѣстѣ пластинокъ: серебряной, золотой и платиновой, изъ которыхъ серебряная находится снаружи, платиновая внутри, а золотая между обѣими. Концемъ A привѣшивается спираль въ вертикальномъ положеніи. Когда она нагрѣвается, то всѣ 3 пластинки расширяются въ длину, но серебряная больше, платиновая меньше всѣхъ, а золотая меньше серебряной, но больше платиновой. Отъ этого форма спирали необходимо должна измѣняться, и именно она должна болѣе закрутиться нежели прежде;

так что, если на концѣ B укрѣплена стрѣла BC, то она отъ C подвинется къ D. Если напротивъ спираль сдѣлается холоднѣе, то внѣшняя серебряная пластинка сожмется болѣе, нежели внутренняя платиновая, спираль раскроется больше и стрѣлка подвинется къ E. Если подвергнемъ этотъ приборъ какой нибудь температурѣ напр. — 10 R, которую мы измѣряемъ ртутнымъ термометромъ, а потомъ температурѣ + 20 и означимъ положеніе стрѣлки при обѣихъ температурахъ на градусной дугѣ, находящейся подъ стрѣлкою, раздѣлимъ пространство между этими положеніями на 30 равныхъ частей, то каждая изъ этихъ частей будетъ соотвѣтствовать одному градусу Реомюра; эти градусы мы можемъ по обѣ стороны продолжать сколько угодно. Приборъ покрывается стеклянным колпакомъ для того чтобы, когда онъ не употребляется, предохранить его отъ толчковъ и сильныхъ движеній воздуха; при употребленіи же прибора этотъ колоколъ снимается. Этотъ термометръ отличается своею чувствительностію, потому что тонкія металлическія пластинки весьма легко принимаютъ температуру окружающей средины. На искривленіи пластинки, составленной изъ двухъ различныхъ металлическихъ пластинокъ при измѣненіи температуры, основываются еще другіе термометры, имѣющіе форму карманныхъ часовъ, но которые мы здѣсь не будемъ описывать подробно, потому что они рѣдко употребляются и основываясь на предъидущемъ устройствѣ ихъ легко понять при одномъ взглядѣ.

Другое приложеніе различной расширяемости металловъ есть *уравнительный маятникъ*. Мы видѣли, въ § 71, что маятникъ въ стѣнныхъ часахъ колеблется тѣмъ медлѣннѣе, чѣмъ онъ длиннѣе; но такъ какъ отъ теплоты онъ дѣлается длиннѣе, то слѣд. при высшихъ температурахъ

онъ будетъ колебаться медленнѣе, нежели при низшихъ и слѣд. часы будутъ итти медленнѣе. Это находятъ въ самомъ дѣлѣ въ обыкновенныхъ часахъ. Если нужно имѣть весьма точные часы, какъ напр. при астрономическихъ наблюденіяхъ, то должно стараться устранить этотъ недостатокъ, и это производится слѣдующимъ образомъ. Пусть A (фиг, 258) будетъ точка привѣшиванія маятника, AM часть стержня маятника, которая предположимъ сдѣлана изъ стали; она прикрѣплена къ поперечной перекладинѣ CC′, отъ которой нисходятъ стальные пруты CD, C′D′, и лежатъ концами на поперечной перекладинѣ DD′. На DD′ стоятъ два цинковые прута FG и F′G′, соединенные вверху поперечною перекладиною GG′. Отъ средины ея идетъ внизъ стальной прутъ HB и на немъ виситъ чечевица маятника, которой центръ B всегда долженъ отстоять отъ A на одинаковое разстояніе, для того чтобы маятникъ всегда колебался равномѣрно. Когда температура увеличивается напр. на n^0, то отъ расширенія стальныхъ прутовъ, AM + CD + HB центръ B долженъ понизиться и именно, если расширеніе стали для одного дюйма на 1^0 означимъ чрезъ δ, на (AM + CD + HB) δn; напротивъ B приблизится къ A, если цинковый прутъ FG расширяется, слѣд. для повышенія температуры на n^0, если расширеніе цинка для 1^0 означимъ чрезъ Δ, B приблизится къ A на $FG.n\Delta$. И такъ если B не должно ни приблизиться къ A, ни отдалиться отъ него, то должно быть (если длину всѣхъ стальныхъ прутьевъ, т. е. AM + CD + HB, означимъ черезъ S, а длину цинковаго прута черезъ Z):

$$S\delta n = Z\Delta n$$

или $$S\delta = Z\Delta.$$

т. е. для того, чтобы было совершенное вознагражденіе, длина стальныхъ прутьевъ должна относиться къ дли-

нѣ цинковаго прута, какъ расширеніе цинка относится къ расширенію стали. Такъ какъ очевидно изъ фигуры, что стальные пруты длиннѣе цинковыхъ болѣе нежели въ 2 раза, то и расширеніе цинка должно быть сильнѣе расширенія стали больше, нежели въ 2 раза, иначе вознагражденіе не возможно. Въ самомъ дѣлѣ расширеніе стали относится къ расширенію цинка, какъ мы выше видѣли, какъ 769:358.

Такимъ образомъ нельзя произвести вознагражденія стальнаго прута посредствомъ латуни, вмѣсто цинка, потому что расширеніе латуни къ расширенію стали относится какъ 769: 529. Но если устроить маятникъ такъ какъ въ фиг. 259, гдѣ 1,1 и проч. суть стальные пруты, а пруты 2,2 изъ латуни, то можно произвести вознагражденіе, потому что сумма длинъ стальныхъ прутовъ относится къ длинѣ прутовъ изъ латуни почти какъ 3: 2.

Въ карманныхъ часахъ вмѣсто маятника дѣйствуетъ пружина AB (фиг. 260), которая распускается и опять заводится и приводитъ въ движеніе взадъ и впередъ мѣдное кольцо MN, также называемое маятникомъ. Если пружина сдѣлается теплѣе, то упругость стали ослабнетъ, слѣд маятникъ будетъ итти медленнѣе въ теплѣ, нежели въ холодѣ. Для того, чтобы произвести вознагражденіе, на кольцѣ прикрѣпляются 2 дугообразныя пластинки MK и NL, которыя какъ въ Брегетовомъ термометрѣ состоятъ изъ 2 металловъ напр. серебра и платины, такъ что серебро находится снаружи, а платина внутри. На концѣ ихъ находятся маленькія тяжести K и L. Если сдѣлается теплѣе, то пластинки болѣе скривятся и тяжести K и L болѣе приблизятся къ кольцу NN, такъ что ослабѣвающая пружина можетъ легче колебаться туда и сюда; если температура сдѣлается меньше, то дугообразныя пластинки меньше скривятся, отъ этого тяжести K и L отдалятся отъ центра B, и пружина сдѣлавшаяся упруже съ большимъ трудомъ будетъ приводить въ движеніе кольцо; такимъ образомъ послѣ нѣсколькихъ попытокъ, перемѣщая тяжести на дугообразныхъ пластинкахъ, можно достигнуть до совершеннаго вознагражденія. Хорошіе часы съ компенсаціею такого рода называются *хронометромъ.* Теперь приготовляютъ хронометры, которые идутъ также хорошо, какъ стѣнные часы съ уравнительнымъ маятникомъ, такъ что они въ своемъ ходѣ отъ однихъ сутокъ до другихъ разнятся только дробью секунды.

§ 203.

Расширеніе жидкостей опредѣляется такъ какъ мы видѣли это въ началѣ. Для этого дѣлаютъ большіе термометры, которые наполняются испытуемою жидкостію послѣ того, какъ емкость шара, до означенной на трубкѣ точки, будетъ опредѣлена въ отношеніи къ опредѣленной длинѣ трубки. Это опредѣленіе дѣлается такъ, что прежде наполняютъ шаръ ртутью до означенной точки; количество ртути, нужное для этого, взвѣшиваютъ и потомъ также находятъ, какое количество ртути наполняетъ трубку до извѣстной высоты; отношеніе вѣса обоихъ количествъ очевидно даетъ отношеніе емкостей частей прибора, въ которыхъ заключается ртуть. Послѣ этого раздѣляютъ трубку на опредѣленныя кратныя части шарика, погружаютъ термометръ въ воду различной температуры, которую опредѣляютъ посредствомъ хорошаго ртутнаго термометра и такимъ образомъ опредѣляютъ расширеніе.

Другое средство опредѣлять расширеніе жидкостей отъ теплоты, есть гидростатическое взвѣшиваніе одного и

*

того же тѣла въ жидкости при различныхъ температурахъ, какъ мы прежде видѣли (§ 93). Тамъ мы упомянули также, что вода показываетъ замѣчательное исключеніе изъ всѣхъ жидкостей, состоящее въ томъ, что она имѣетъ наибольшую плотность при 3°,2, слѣд. отъ этой температуры до 0° она не сжимается, какъ другія жидкія тѣла, но опять расширяется пока наконецъ при 0° замерзаетъ. Это объясняютъ тѣмъ, что въ водѣ при 3°,2 уже начинаютъ образоваться ледяныя иголки, хотя это для глаза не замѣтно, и тогда въ самомъ дѣлѣ она должна расширяться отъ того, что ледъ значительно легче воды. Какъ бы то ни было, однако это обстоятельство имѣетъ весьма существенное вліяніе на многія явленія природы. Такъ въ этомъ мы находимъ причину, почему наши средиземныя озера во время зимы не до самаго дна замерзаютъ, но покрываются, въ сравненіи съ ихъ глубиною, только тонкимъ слоемъ льда. Въ самомъ дѣлѣ предположимъ, что у насъ морозъ въ —10° зимою продолжается нѣсколько дней сряду, что, какъ извѣстно, у насъ не рѣдко имѣетъ мѣсто. Верхнія частицы озера, имѣющія предположимъ температуру + 10, первыя охлаждаются, отъ этого онѣ сдѣлаются холоднѣе, слѣд. относительно тяжелѣе, нежели нижайшія, и понизятся; новыя частицы теплѣйшія придутъ въ прикосновеніе съ воздухомъ, охладятся и понизятся опять и все продолжается такимъ образомъ до того, что вся масса воды приметъ температуру + 3°,2. Съ этого момента частицы холоднѣйшія, находящіяся на поверхности не могутъ болѣе опуститься внизъ, потому что онѣ легче теплѣйшихъ частицъ, находящихся подъ ними, слѣд. онѣ остаются на своемъ мѣстѣ и холодъ можетъ проникнуть въ глубину отъ того только, что онъ распространяется отъ одного слоя до другаго, что самое, какъ мы

увидимъ, совершается очень медленно. Такимъ образомъ замерзаютъ верхнія частицы, между тѣмъ какъ находящіяся на днѣ удерживаютъ свою температуру + 3°,2.

Расширеніе другихъ жидкостей не представляетъ такой неправильности, какую мы сейчасъ видѣли въ водѣ; однако не далеко отъ точки ихъ замерзанія и прочія жидкости расширяются неправильно. Впрочемъ расширеніе жидкостей, какъ уже замѣчено, весьма различно; для воды отъ + 3°,2 до 80° оно равно $= \frac{1}{22}$, для виннаго спирта отъ 0 до 80° $= \frac{1}{9}$, для масла $= \frac{1}{13}$, для ртути $= \frac{1}{55,5}$ или для 1° $= \frac{1}{4440}$.

Расширеніе газообразныхъ жидкостей опредѣляется также какъ и расширеніе капельныхъ, какъ уже было сказано (§ 198). Оно сильнѣе расширенія другихъ тѣлъ, для всѣхъ газовъ одинаково и равно почти $^1/_3$ ихъ объема при 0°, когда температура измѣняется отъ 0° до 80°.

§ 204.

На расширеніи газовъ основывается нагрѣваніе нашихъ печей и каминовъ. Пусть AB представляетъ горнъ печи, гдѣ горятъ дрова или угли (фиг. 261), BC трубу, чрезъ которую выходитъ дымъ, DF дверцы. Труба BC находится во внутренности дома, слѣд. она теплѣе внѣшняго воздуха. Если вообразимъ себѣ столбъ внѣшняго воздуха MN равной высоты съ столбомъ воздуха въ трубѣ, то между обоими столбами, сообщающими другъ другу давленіе свое, сквозь находящійся между ними воздухъ, не можетъ существовать равновѣсія, потому что легчай-

шій воздухъ въ BC вѣситъ менѣе, нежели MN; слѣд. BC будетъ подниматься и MN черезъ дверцы FD будетъ входить въ печку, какъ показываетъ стрѣлка. Отъ горящихъ въ печькѣ дровъ дымъ будетъ слѣдовать за теченіемъ воздуха и подниматься въ дымовую трубу, въ которой отъ этого воздухъ еще болѣе нагрѣвается и въ слѣдствіе этого теченіе еще болѣе увеличивается. Съ другой стороны свѣжій воздухъ столба MN, притекающій въ печку приноситъ дровамъ новый кислородъ и способствуетъ горѣнію, такъ что та же самая причина, отъ которой выходитъ дымъ, поддерживаетъ вмѣстѣ и горѣніе. Еслибы каналъ трубы (фиг. 262) восходилъ не прямо, но сперва изогнулся бы внизъ и потомъ опять вверхъ, какъ CKL, то столбы теплаго воздуха въ CB и CK уравновѣшивались бы взаимно. Напротивъ между MN и KL было бы тоже, что прежде между MN и CK, такъ что теченіе воздуха всегда имѣло бы мѣсто, но оно сдѣлалось бы менѣе быстро отъ того, что воздухъ проходя теперь чрезъ длиннѣйшій каналъ, теряетъ часть скорости отъ тренія и кромѣ того еще отъ измѣненія направленія въ обоихъ изгибахъ въ C и K, которое не можетъ совершаться безъ ударенія воздушныхъ частицъ въ стѣнки изгибовъ. По этому, хотя многократными изгибами дымопроводнаго канала уменьшается скорость теченія воздуха, однако она всегда будетъ имѣть мѣсто *если только конецъ L теплѣйшаго канала будетъ находиться выше дверцевъ F, а скорость его будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше изгибовъ въ каналахъ и чѣмъ выше нагрѣтой воздушный столбъ.* Для этого употребляютъ высокія трубы въ зданіяхъ фабричныхъ, на заводахъ, въ которыхъ требуется большій жаръ, слѣд. усиленное горѣніе, зависящее отъ быстраго теченія воздуха въ печахъ.

Въ каминахъ обыкновенно прямой каналъ BC проводится въ трубу, отъ этого теченіе бываетъ быстро и выходящій изъ трубы воздухъ весьма тепелъ, такъ что чрезъ это теряется большое количество теплоты. Дабы сколько возможно болѣе удержать въ комнатѣ теплоту воздуха выходящаго изъ горна печи, наши печи, назначенныя для отопленія покоевъ, имѣютъ внутри много дымопроводныхъ каналовъ или много изогнутыхъ трубъ какъ BCKL; отъ такого устройства теплый воздухъ во время прохожденія чрезъ каналы отдаетъ большую часть своей теплоты стѣнкамъ ихъ; черезъ это вся масса печи нагрѣвается, и сія теплота мало по малу сообщается покоямъ. Изъ предъидущаго видно, что во время топки печей, когда труба еще не закрыта вьюшкою, большая часть воздуха выходитъ изъ комнаты черезъ печь и трубу: онъ замѣняется внѣшнимъ воздухомъ, который находится въ сообщеніи съ воздухомъ комнаты черезъ многія маленькія отверстія, находящіяся въ окнахъ и въ дверяхъ. И такъ отопленіе нашихъ печей вмѣстѣ и есть весьма дѣйствительное средство возобновлять испорченный въ покояхъ воздухъ и по этому оно теперь всегда устроивается такъ, что печки отопляются внутри комнатъ; онѣ служатъ въ этомъ случаѣ хорошими *вентиляторами.*

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТѢЛЪ.

§ 205.

Если какую нибудь металлическую вещь, напр. серебряную ложку или проволоку будемъ держать однимъ кон-

цемъ въ пламени, то замѣтимъ, что другой конецъ, который держимъ въ рукахъ, также нагрѣвается мало по малу, пока наконецъ онъ сдѣлается такъ горячь, что рука не можетъ переносить. И такъ теплота отъ одного конца распространяется черезъ внутренность металла до другаго, или *проводится* металломъ; это свойство называется *теплопроводностію* тѣлъ. Если тотъ же опытъ сдѣлаемъ съ платиновою проволокою, то найдемъ, что другой конецъ ея нагрѣвается гораздо медленнѣе, а при стеклянной палочкѣ еще медленнѣе. Слѣд. не всѣ тѣла одинаково хорошо проводятъ теплоту; лучше всѣхъ проводятъ металлы, хуже стекло, камни, дерево и проч. По этому металлы называются *хорошими* проводниками теплоты, дерево, стекло, камни *худыми*. Къ худымъ проводникамъ принадлежатъ тѣла, состоящія изъ многихъ слоевъ различныхъ тѣлъ, какъ напр. шерсть, мѣхъ, солома и проч.; въ послѣдней напр., теплота выходя изъ соломенки входитъ въ слой воздуха, отсюда опять въ другую соломенку и т. д. Жидкія тѣла какъ капельныя такъ и упругія весьма худо проводятъ теплоту, въ чемъ можемъ удостовѣриться, если на воду нальемъ сѣрный эфиръ, какъ извѣстно весьма горючее тѣло, такъ чтобъ обѣ жидкости были отдѣлены одна отъ другой и легчайщій эѳиръ плавалъ на тяжелѣйшей водѣ и потомъ зажжемъ эѳиръ. Если въ водѣ внизу будетъ находиться термометръ, то мы увидимъ, что не смотря на жаръ пламени на поверхности, ртуть въ немъ будетъ подниматься весьма мало и поднялась бы еще меньше, если бы стѣнки сосуда не проводили теплоты. Эта худая теплопроводность воды есть причина того, по чему, какъ мы видѣли прежде, вода озеръ охладившись до 3°,2, такъ медленно теряетъ свою теплоту черезъ поверхность, не смотря на морозъ часто очень

сильный. Если же воду подогрѣвать снизу, то можно скоро даже вскипятить ее, какъ мы видимъ это ежедневно въ нашихъ кухняхъ; но это происходитъ отъ того, что частицы, находящіяся на днѣ нагрѣваемаго сосуда, дѣлаются отъ нагрѣванія легче, отъ этого онѣ поднимаются вверхъ и уступаютъ мѣсто другимъ холоднѣйшимъ частицамъ; эти послѣднія также нагрѣваются на днѣ и поднимаются вверхъ и такимъ образомъ мало по малу всѣ водяныя частицы приходятъ въ прикосновеніе съ дномъ нагрѣваемымъ непосредственно пламенемъ и пріобрѣтаютъ высшую температуру. Таковое восхожденіе нагрѣтыхъ и нисхожденіе холодныхъ частицъ можно видѣть ясно, если вода нагрѣвается въ стеклянномъ сосудѣ.

Если какое нибудь тѣло покроемъ худымъ проводникомъ и потомъ поставимъ его въ воздухъ болѣе холодный или болѣе теплый, то тѣло тѣмъ медленнѣе приметъ температуру окружающаго воздуха, чѣмъ хуже проводникъ покрывающій его; такимъ образомъ во время холодной зимы при переноскѣ вещей, которыя терпятъ отъ холода, можно предохранять ихъ отъ холоду по средствомъ худыхъ проводниковъ. Впрочемъ и худой проводникъ, если онъ очень долго, напр. нѣсколько дней, находится въ срединѣ, имѣющей высшую или нисшую температуру, наконецъ принимаетъ эту послѣднюю, потому что теплота хотя и медленно, но все переходитъ изъ теплыхъ тѣлъ въ холодныя. По этому тщетно было бы стараться удержать теплоту въ нашихъ покояхъ во время продолжительной зимы, окружая ихъ только худыми проводниками.

Но совсѣмъ другое бываетъ, если тѣло имѣетъ въ самомъ себѣ источникъ теплоты, какъ напр. человѣческое тѣло. Въ немъ теплота освобождается безпрестанно жизненнымъ процессомъ и преимущественно дыханіемъ; она

сообщается всему тѣлу и распространяется до поверхности. Кожа находясь въ прикосновеніи съ воздухомъ, который обыкновенно холоднѣе ея, отдаетъ ему свою теплоту; и такъ внутри мы имѣемъ постоянный прибытокъ, а на поверхности тѣла постоянную потерю теплоты, и между обоими ими должно быть извѣстное равновѣсіе для того, чтобы мы чувствовали себя хорошо. Если прибытокъ теплоты сильнѣе, между тѣмъ какъ потеря остается одинаковою, то мы чувствуемъ жаръ; это бываетъ напр. тогда, когда мы быстрымъ движеніемъ и въ слѣдствіе того скорѣйшимъ дыханіемъ, усиливаемъ теплоту. Если бы напротивъ потеря сдѣлалась сильнѣе обыкновеннаго, и прибытокъ теплоты оставался бы постояннымъ, то мы ощущали бы холодъ; отъ этого зависитъ, что когда мы изъ воздуха погружаемся въ воду, имѣющую туже самую температуру, то мы чувствуемъ холодъ, между тѣмъ, какъ термометръ въ обоихъ показываетъ одинаковую температуру. Вода плотнѣе воздуха, слѣд. она прикасается къ нашей кожѣ большимъ числомъ частицъ, нежели воздухъ и такимъ образомъ отнимаетъ у нашего тѣла больше теплоты нежели воздухъ. Если же мы по прошествіи нѣкотораго времени перестаемъ въ водѣ чувствовать холодъ, то это происходитъ частію отъ того, что чувства наши мало по малу притупляются для каждаго ощущенія, частію отъ замѣчательнаго свойства нашего организма, которое состоитъ въ томъ, что онъ въ нѣкоторыхъ предѣлахъ, опять приходитъ въ свое нормальное состояніе, такъ что, какъ скоро усиливается внѣшняя потеря теплоты, онъ внутри безъ нашего содѣйствія начинаетъ освобождать большое количество ея. Когда же температура внѣшняго воздуха такъ низка, что нашъ организмъ не въ состояніи скорымъ развитіемъ теплоты замѣнить большой потери ея, то мы можемъ по-

мочь этому недостатку удерживая переходъ теплоты во внѣшній воздухъ одеждами изъ худыхъ проводниковъ, которые должны быть взяты тѣмъ хуже проводящими теплоту, чѣмъ ниже внѣшняя температура. По этой причинѣ зимою употребляютъ шерстяныя одѣжды и мѣха, принадлежащіе къ весьма худымъ проводникамъ теплоты. Также и въ нашихъ жилищахъ находятся источники тепла — печи и теплота, сообщаемая воздуху людьми, находящимися въ покоѣ, какъ мы сейчасъ видѣли; поэтому можно жилища защищать отъ холода зимою окружая ихъ худыми проводниками. Вотъ почему теплота комнатъ зависитъ отъ толщины стѣнъ; вотъ польза зимнихъ рамъ, которыя вмѣстѣ съ слоемъ воздуха лежащимъ между ними, по причинѣ разнородности, дѣлаются еще худшими проводниками; вотъ почему зимою обиваютъ двери войлокомъ и проч.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

О ПЕРЕМѢНѢ, ПРОИЗВОДИМОЙ ТЕПЛОТОЮ ВЪ СОСТОЯНІИ ТѢЛЪ И О СКРЫТОМЪ ТЕПЛОРОДѢ.

§ 206.

Извѣстно, что вода, когда температура ея уменьшается болѣе и болѣе, дѣлается наконецъ твердою или *замерзаетъ*; напротивъ ледъ въ теплой комнатѣ мало по малу переходитъ въ воду или *таетъ*; слѣд. отъ теплоты зависитъ твердое или жидкое состояніе воды. Тоже самое бываетъ и со всѣми другими тѣлами, только многія изъ нихъ сложныя разлагаются отъ возвышенія температуры на соста-

вныя части прежде, нежели они сдѣлаются жидкими, напр. дерево. Температура, при которой твердое тѣло дѣлается жидкимъ, или, что все равно, жидкое дѣлается твердымъ, весьма различна для различныхъ тѣлъ. Для воды эта температура есть 0, потому что по ней означается 0 на термометрѣ; слѣд. на термометрѣ 0 не есть температура, при которой вся теплота выходитъ изъ тѣла, ибо тогда ниже 0 не было бы никакого измѣненія температуры; но 0 есть такая температура, при которой измѣняется расположеніе частицъ воды, переходящей изъ жидкаго состоянія въ твердое. Эта температура отъ того только важнѣе другихъ, соотвѣтствующихъ измѣненію состоянія остальныхъ тѣлъ, что вода въ такомъ количествѣ распространена въ природѣ, что если измѣняется ея состояніе, то отъ него зависятъ и множество другихъ явленій, какъ то: прозябеніе растеній, замерзаніе рѣкъ, навигація и проч. Самая низкая температура для перехода изъ жидкаго состоянія въ твердое принадлежитъ алькоолю; до сихъ поръ онъ еще не былъ доведенъ до этаго состоянія даже при температурѣ — 64° R. Ртуть дѣлается твердою при — 32° R; и тогда она не болѣе отличается отъ другихъ металловъ, какъ они между собою. Свинецъ плавится при 280°, платина только въ маломъ количествѣ отъ пламени гремучаго газа, но она уже прежде дѣлается мягкою, какъ желѣзо, и можетъ быть ковано отъ сильныхъ ударовъ. Наконецъ чистый уголь еще никакимъ средствомъ не могли расплавить.

§ 207.

Когда снѣгъ или ледъ таетъ, то это явленіе сопровождается еще другими, которыя мы обыкновенно не замѣчаемъ, но которыя имѣютъ большое вліяніе на таяніе

и замерзаніе. Если напр. возьмемъ кусокъ льду, который находясь въ комнатѣ пріобрѣлъ температуру 0, вѣсомъ въ 1 фунтъ, и если смѣшаемъ его въ сосудѣ съ 1 фунтомъ воды, имѣющей температуру 60°, то найдемъ, что ледъ растаетъ въ ней и тогда смѣсь будетъ при температурѣ 0; слѣд. вода потеряла свой теплородъ и при всемъ томъ температура смѣси не повысилась, но ледъ только измѣнилъ свое состояніе — твердое въ жидкое; и такъ отъ *этого измѣненія вида 1 фунта льду количество теплорода изчезло, отъ котораго 1 ф. воды можетъ нагрѣться* отъ 0 до 60° и мы должны заключить, что именно черезъ это поглощеніе теплоты ледъ перемѣнилъ свой видъ; мы можемъ себѣ вообразить, что при этомъ произошло нѣкотораго рода химическое соединеніе льда съ опредѣленнымъ количествомъ теплорода, при чемъ происходитъ новое тѣло — вода. Теплородъ въ этомъ состояніи, при которомъ онъ не дѣйствуетъ на термометръ, называется *скрытымъ*. Онъ дѣлается свободнымъ, и слѣд. дѣйствуетъ на термометръ, только тогда, когда вода опять замерзаетъ.

Скрытый теплородъ есть причина медленнаго таянія льда и медленнаго замерзанія воды. Въ самомъ дѣлѣ когда вода начинаетъ замерзать при окружающей температурѣ ниже 0, то первыя частицы ея, принявшія твердый видъ, освобождаютъ изъ себя скрытый теплородъ, отъ котораго онѣ находились въ жидкомъ состояніи; сей свободный теплородъ нагрѣваетъ ближайшія частицы и такимъ образомъ препятствуетъ имъ замерзать до тѣхъ поръ, пока онъ не будетъ отвлеченъ окружающимъ холоднымъ воздухомъ. Какъ скоро и эти частицы замерзнутъ, онѣ въ свою очередь освободятъ свой скрытый теплородъ и будутъ препятствовать замерзанію окружающихъ оныя. На оборотъ когда ледъ или снѣгъ начинаетъ таять въ теплой комнатѣ,

то первыя тающія частицы отнимаютъ теплоту отъ окружающихъ частицъ воздуха до тѣхъ поръ пока онѣ не сдѣлаютъ скрытнымъ необходимое для этого количество теплорода и тогда онѣ таятъ; тоже самое происходитъ и съ слѣдующими частицами и т. д. И такъ если принесемъ въ комнату снѣгъ, котораго температура ниже 0, то онъ становится теплѣе, отнимая по причинѣ проводимости теплоту отъ комнатнаго воздуха, пока не достигнетъ до температуры 0; тогда температура его не будетъ болѣе увеличиваться, потому что начиная съ этого мгновенія весь теплородъ, приходящій въ него извнѣ, употребляется на то, чтобы соединиться съ нимъ въ видѣ скрытаго теплорода; слѣд скрытый теплородъ есть причина того, что температура тающаго льда принята какъ постоянная точка при устройствѣ термометра.

Подобно льду всякое другое тѣло, дѣлаясь жидкимъ, поглощаетъ теплородъ и опять освобождаетъ его, когда переходитъ въ твердое состояніе; отъ этого при раствореніи соли въ водѣ температура смѣси понижается и она дѣлается еще ниже, когда соль смѣшиваютъ со снѣгомъ; взаимное сродство обоихъ тѣлъ способствуетъ таянію ихъ и при этомъ они отнимаютъ съ возможною скоростію теплоту отъ окружающихъ предметовъ для того, чтобы соединиться съ нею въ видѣ скрытаго теплорода. Тоже самое бываетъ, когда смѣшиваютъ со снѣгомъ такія жидкія тѣла, которыя по причинѣ сродства ихъ къ водѣ заставляютъ быстрѣе таять снѣгъ. На этомъ основываются такъ называемыя прохладительныя смѣси; напр. смѣсь изъ 1 части поваренной соли и 1 части снѣга заставляетъ термометръ понизиться отъ 0 до — 14; смѣсь слабой азотной кислоты и равной части снѣгу понижаетъ отъ — 14 до — 34 и проч.

§ 208.

Когда вода будетъ нагрѣваема отъ 0 болѣе и болѣе, то она начинаетъ наконецъ кипѣть; и если будемъ исподволь продолжать нагрѣваніе, то количество ея въ сосудѣ будетъ уменьшаться болѣе и болѣе, причемъ она поднимается въ воздухъ въ видѣ паровъ, слѣд. она переходитъ изъ состоянія капельной въ состояніе газообразной жидкости. Если пары входятъ въ пространство, которое холоднѣе, если на пр. они будутъ проведены чрезъ трубку въ шаръ, охлаждаемый окружающею его холодною водою или льдомъ, то они опять переходятъ въ жидкое состояніе и осаждаются въ шаръ въ видѣ капель. На этомъ основывается *перегонка*, посредствомъ которой напр. вода можетъ быть очищена отъ соляныхъ веществъ находящихся въ ней. Отъ кипяченія въ закрытомъ сосудѣ вода обращается въ пары, при чемъ соляныя частицы ея не испаряются вмѣстѣ; пары проходятъ чрезъ трубку, находящуюся въ крышкѣ сосуда, въ другой сосудъ, который охлаждается окружающею его водою или льдомъ; въ этомъ сосудѣ пары опять измѣняются въ воду, которая теперь совершенно чиста и называется *перегнанною* или *дистиллированною.*

И такъ опять черезъ дѣйствіе теплорода вода перемѣняетъ свое состояніе изъ жидкаго въ газообразное и не трудно показать, что теплородъ, производящій такую перемѣну въ состояніи воды, находится въ скрытомъ состояніи. Въ самомъ дѣлѣ представимъ себѣ сосудъ съ водою, которую можно въ немъ кипятить; изъ крышки его проходитъ трубка въ ванну, которая, предположимъ, вмѣщаетъ 19 фунтовъ воды при температурѣ 0. Станемъ нагрѣвать

воду въ первомъ сосудѣ до тѣхъ поръ, пока въ воду ванны перейдетъ нѣкоторое количество паровъ и осадится въ холодной водѣ; количество перешедшей воды можно найти, опредѣляя какимъ вѣсомъ увеличилась вода въ ваннѣ противъ прежняго т. е. противъ 19ф.; положимъ, что перешло воды, 1 ф. Такъ какъ пары при входѣ въ холодную воду имѣли температуру 80°, то должно думать, что теперь температура воды въ ваннѣ должна быть такая, какая происходитъ отъ смѣшенія одного фунта воды при 80° съ 19 фунтами воды при 0°; такъ какъ количество теплоты содержавшееся въ одномъ фунтѣ раздѣлилось теперь на 20, то слѣд. температура смѣси должна быть $\frac{80}{20} =$ 4°. Но вмѣсто этой температуры находятъ при самомъ опытѣ 26°. Эта высшая температура можетъ происходить только отъ того, что при переходѣ паровъ въ воду также какъ и при переходѣ воды въ ледъ освобождается теплородъ, котораго присутствіе въ парахъ нельзя узнать посредствомъ термометра; слѣд. и здѣсь, какъ и тамъ есть скрытый теплородъ, который чрезъ тѣсное соединеніе съ водою, поддерживаетъ ее въ газообразномъ состояніи. Въ слѣдствіе сего причину постоянной температуры кипящей воды должно искать въ скрытомъ теплородѣ паровъ, точно также какъ постоянная температура точки замерзанія зависитъ отъ скрытаго теплорода воды. Въ самомъ дѣлѣ если вода согрѣвается теплотою горящей внизу лампы до кипѣнія, то хотя теплота лампы и послѣ притекаетъ, какъ прежде, но вся она употребляется на то, чтобъ въ видѣ скрытаго теплорода привесть воду въ газообразное состояніе, не увеличивая ни сколько температуры ея. Изъ приведеннаго опыта даже легко найти количество скрытаго теплорода. Въ самомъ дѣлѣ вмѣсто 4°, которые мы получили бы безъ скрытаго теплорода мы нашли 26°; слѣд. скрытый теплородъ одного фунта паровъ былъ такъ великъ, что онъ 20° фунтовъ воды возвысилъ на 22°, слѣд. 440 фунтовъ воды на 1° или $5\frac{1}{2}$ фунтовъ на 80°. И такъ если 1 фунтъ паровъ переходитъ въ воду, то изъ него столько освобождается скрытаго теплорода, что $5\frac{1}{2}$ фунтовъ воды при температурѣ 0 могутъ быть нагрѣты до 80°; изъ этого слѣдуетъ что наоборотъ, если вода обращается въ пары, то столько же свободнаго теплорода дѣлается скрытымъ или, какъ говорятъ, поглощается.

Изъ послѣдняго закона слѣдуетъ, что при всякомъ испареніи происходитъ холодъ, и это въ самомъ дѣлѣ подтверждается многоразличными опытами; такъ напр. можно металлическій сосудъ, въ которомъ сильно кипитъ вода, снять съ очага и тотчасъ коснуться до его дна безъ обжоги. Пузырьки водяныхъ паровъ, образующіеся еще и послѣ снятія сосуда съ очага, такъ много отнимаютъ теплоты и дѣлаютъ ее скрытою, что рука можетъ переносить остающуюся теплоту. Лучше всего происхожденіе холода оказывается не въ обыкновенномъ образованіи паровъ водяныхъ при 80°, но въ испареніи при другихъ температурахъ. Именно вода обращается въ пары не только при 80°, но при всякой температурѣ, только тѣмъ медленнѣе, чѣмъ температура ниже 80°; на этомъ основывается сушеніе бѣлья на воздухѣ; отъ этого вода изчезаетъ мало по малу, если она стоитъ въ незакрытомъ сосудѣ и т. д. Также и при этомъ медленномъ образованіи паровъ теплота поглощается, какъ лучше всего видно тогда, когда шарикъ термометра покрываютъ какою нибудь тонкою матеріею, напр. кисеею, и потомъ смачиваютъ ее водою; вода испаряется на кисеѣ и ртуть понижается въ термометрѣ на нѣсколько градусовъ. Можно даже замо-

розить воду если ускорить испареніе. Это дѣлается слѣдующимъ образомъ: плоскій сосудъ, напр. часовое стекло, наполненный водою ставятъ на худомъ проводникѣ подъ колоколъ воздушнаго насоса и вмѣстѣ съ этимъ сосудъ съ крѣпкою сѣрною кислотою. Когда вытягиваютъ воздухъ изъ подъ колокола, то этимъ весьма увеличиваютъ скорость испаренія, какъ мы увидимъ послѣ; но сѣрная кислота сильно притягиваетъ къ себѣ водяные пары и такимъ образомъ безпрестанно уничтожаетъ пары, образующіеся въ весьма разрѣженномъ воздухѣ; отъ этого образуются новые пары, опять поглощаются кислотою и т. д. Такое быстрое испареніе такъ сильно охлаждаетъ воду, что она наконецъ замерзаетъ, хотя температура комнаты, какъ обыкновенно, будетъ 15°. Холодъ отъ испаренія мы чувствуемъ тогда, когда наше платье бываетъ намочено или когда мокрую руку двигаемъ въ воздухѣ и проч. Испареніе углекислоты, приведенной сильнымъ давленіемъ въ жидкое состояніе, производитъ величайшій до сихъ поръ извѣстный холодъ, который простирается до — 64°. Это испареніе такъ сильно, что отъ него можетъ замерзнуть вся оставшаяся масса жидкой углекислоты, изъ которой освобождаются пары; такимъ образомъ можно получить углекислоту даже въ твердомъ состояніи.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

ОБЪ УДѢЛЬНОМЪ ТЕПЛОРОДѢ И ТЕПЛОЕМКОСТИ.

§ 209.

Если различныя тѣла, напр. вода и ртуть, долгое время находились въ комнатѣ при постоянной температурѣ, то всѣ они принимаютъ одну и туже температуру; т. е. термометръ погруженный въ воду столько же показываетъ градусовъ тепла сколько и въ ртути или въ воздухѣ комнаты. Слѣд. въ этомъ случаѣ, содержащіяся въ нихъ количества теплорода находятся въ равновѣсіи, т. е. они не стремятся перейти въ термометръ, который имѣетъ туже температуру. Но спрашивается слѣдуетъ ли изъ этого, что одинаковое количество теплоты содержится въ одномъ и томъ же вѣсѣ каждаго тѣла? Представимъ себѣ напр. 2 пустые стеклянные шара A и B, совершенно одинаковой величины и сообщающіеся между собою трубкою C (фиг. 263). Пусть въ A находится одинъ воздухъ, а B пусть будетъ наполненъ какимъ нибудь другимъ тѣломъ напр. дробью, между частицами которой находится воздухъ; воздухъ въ обоихъ шарахъ будетъ въ равновѣсіи, такъ что онъ не переходитъ ни изъ A въ B, ни изъ B въ A, потому что въ обоихъ упругость воздуха одинакова. Но изъ этого еще не слѣдуетъ, что количество воздуха въ A равно количеству въ B; но оно въ A очевидно будетъ больше. Подобнымъ же образомъ можно себѣ представить, что и *упругость* теплорода или стремленіе его перейти изъ одного тѣла въ

другое, можетъ быть одинаково въ двухъ тѣлахъ, имѣющихъ одинаковую температуру, но при всемъ томъ *количество* его можетъ быть различно. Въ этомъ должно посовѣтоваться съ опытомъ, который можно произвести слѣдующимъ образомъ.

Если одинъ фунтъ воды при температурѣ 70° смѣшаемъ съ однимъ же фунтомъ воды при 0°, то безъ сомнѣнія 2 фунта воды будутъ имѣть температуру 35°, ибо изъ теплой воды половина ея теплорода перейдетъ въ холодную и тогда произойдетъ равновѣсіе; это показываетъ и опытъ. Если же возмемъ 1 фунтъ ртути при 70° и смѣшаемъ его съ однимъ фунтомъ воды при 0°, то смѣсь не будетъ имѣть 35°, но только 2°; и такъ мы должны сказать, что количество теплорода потерянное ртутью, когда она отъ 70° охладилась до 2° (слѣд. на 68°) такъ мало, что оно можетъ нагрѣть такое же количество воды только до 2°. По этому при равной температурѣ вода содержитъ теплорода въ 34 раза больше нежели ртуть; или если количество теплорода, содержащееся въ опредѣленномъ вѣсѣ воды примемъ за единицу, то количество теплорода содержащееся въ томъ же вѣсѣ ртути, имѣщей тужe температуру, будетъ только $\frac{1}{34} = 0,03$; такимъ же образомъ находятъ количество теплоты въ железѣ $= 0,11$ въ сѣрѣ $= 0,18$ и т. д. Слѣд. эти числа выражаютъ *теплоемкость* или способность принимать въ себя теплородъ. Но количество теплорода, которое въ нихъ содержится называютъ *удѣльнымъ теплородомъ*, который слѣд. отличенъ отъ *свободнаго* теплорода показываемаго термометромъ, а также отъ *скрытаго*, который является только при измѣненіи состоянія тѣлъ.

Мы имѣемъ еще и другія средства опредѣлять удѣль-

ный теплородъ тѣлъ, кромѣ описаннаго нами *способа смѣшенія*, изъ которыхъ самое употребительное представляетъ намъ *калориметръ*. Онъ основывается на томъ, что взвѣшенное количество какого нибудь тѣла нагрѣваютъ до извѣстной температуры, потомъ кладутъ въ ледъ раздробитый въ мѣлкія части и опредѣляютъ, сколько таетъ льду въ продолженіи охлажденія тѣла до 0. Раздѣляя вѣсъ раставшаго льда на число градусовъ, получаютъ количество льду, которое можетъ растаять отъ охлажденія тѣла только на 1°, и наконецъ если полученное такимъ образомъ количество раздѣлимъ на число фунтовъ, которое вѣситъ тѣло, то получимъ количество льду, которое можетъ растаять отъ одного фунта тѣла при охлажденіи его на 1°. Если опредѣлимъ это количество для различныхъ тѣлъ, то очевидно получимъ числа пропорціональныя теплоемкости и которыя по этому можнобъ было употребить вмѣсто прежнихъ чиселъ отнесенныхъ къ теплоемкости воды, какъ къ единицѣ, еслибъ они не представляли того неудобства, что въ различныхъ государствахъ по причинѣ употребленія различныхъ единицъ вѣса и различныхъ шкалъ термометра, теплоемкость одного и тогоже тѣла выражалась бы различными числами.—Самый опытъ впрочемъ не такъ простъ, когда хотятъ получить точные результаты. Еслибъ въ сосудъ ACB (фиг. 264) положили разбитаго въ мелкіе части льду, имѣющаго температуру 0°, а въ средину его въ металическую сѣтку FGH до извѣстной степени нагрѣтое тѣло, котораго теплоемкость ищутъ, потомъ закрылибъ эту сѣтку крышкою FM и обложили также и ее льдомъ; то хотя бы вся теплота нагрѣтаго прежде шара перешла въ ледъ, сдѣлалась скрытою и заставила растаять часть льду, которая далабъ искомое количество; но при этомъ изъ внѣшняго теплаго воздуха

также постоянно притекаетъ теплота въ ледъ и заставляетъ его отчасти таять, такъ что когда послѣ нѣкотораго времени открываютъ кранъ D, то вытекающая изъ него вода произойдетъ не только отъ теплоты шара, но также частію и отъ теплоты окружающаго воздуха. Чтобъ устранить это вліяніе окружающей температуры, сосудъ ACB заключаютъ въ другой, большій KDL, который также наполняютъ тающимъ льдомъ; тогда весь входящій извнѣ теплородъ сдѣлается въ тающемъ льдѣ внѣшняго сосуда скрытымъ и поэтому небудетъ имѣть никакого вліянія на сосудъ ACB, такъ что вытекающая изъ крана D вода произойдетъ только отъ теплорода тѣла G. Такимъ образомъ нашли, что отъ одного фунта воды, нагрѣтой до 80° и охлаждающейся до 0, можетъ растаять $1^1/_3$ фунтовъ льду, или что необходимый для таянія одного фунта льду скрытый теплородъ, можетъ нагрѣть 1 фунтъ воды отъ 0 до 60°, что согласно и съ прежде сказаннымъ. Такимъ образомъ видно, что калориметръ можетъ служить также и для опредѣленія скрытой теплоты. Для полученія количества льду, тающаго при охлажденіи остальныхъ тѣлъ отъ 80 до 0°, получаются числа, которыя можно выводить изъ прежнихъ чиселъ, выражающихъ теплоемкости этихъ тѣлъ въ отношеніи теплоемкости воды, если послѣднія помножимъ на число $1^1/_3$.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

О ПАРАХЪ.

§ 210.

Мы уже видѣли, что вода превращается въ пары не только во время кипѣнія, но также и при температурахъ гораздо нисшихъ, особенно когда уменшится давленіе воздуха дѣйствующее на поверхность ея, какъ мы видѣли это въ опытѣ замерзанія воды подъ колоколомъ воздушнаго насоса (§ 207). Теперь мы опредѣлимъ точнѣе, какимъ образомъ образованіе паровъ зависитъ отъ температуры и давленія воздуха и чтобъ задачу сдѣлать проще начнемъ съ того, что устранимъ всякое давленіе воздуха т. е. разсмотримъ образованіе паровъ въ пустомъ пространствѣ. Для этого мы возмемъ два барометра, которые прежде тщательно сравниваемъ одинъ съ другимъ; положимъ, что мы въ обоихъ барометрахъ высоту ртути нашли одинаковую. Впустимъ одну каплю воды снизу въ отверстіе трубки барометра A, не измѣняя другаго B. Вода тотчасъ по причинѣ легкости своей станетъ подниматься въ барометрѣ до тѣхъ поръ, пока достигнетъ торичелліевой пустоты и здѣсь будетъ плавать на поверхности ртути. Если теперь опять сравнимъ между собою оба барометра, то найдемъ, что ртуть въ A стоитъ значительно ниже, нежели въ B, именно при обыкновенной температурѣ ком-

наты 14° на ½ дюйма. Это можетъ произойти только отъ того, что въ торичелліевой пустотѣ теперь находится газъ—водяные пары, которыхъ упругость уменьшаетъ высоту ртути, такъ что разность въ высотѣ обоихъ барометровъ даетъ упругость паровъ; слѣд. при 14° упругости водяныхъ паровъ въ пустомъ пространствѣ будетъ равна давленію ртутнаго столба высотою ½ дюйма. Если окружимъ барометрическую трубку A широкимъ стекляннымъ сосудомъ, въ который можно наливать горячую воду, то мы можемъ по произволу возвышать температуру водяныхъ паровъ въ торичелліевой пустотѣ и тогда мы найдемъ, что, если только надъ ртутью еще останется вода въ жидкомъ состояніи, то упругость увеличивается болѣе и болѣе и притомъ въ бо́льшемъ отношеніи нежели температура. Слѣдующая табличка показываетъ эти упругости выраженныя въ нашихъ дюймахъ, какъ онѣ выведены изъ такихъ или подобныхъ опытовъ для разныхъ температуръ:

темп.	упруг.	темп.	упруг.	темп.	упруг.
0	0,20	25	1,3	70	18,9
5	0,30	30	1,8	80	30,0
10	0,45	40	3,6	120	138
15	0,67	50	6,6	160	450
20	0,96	60	11,4	200	1170

Изъ таблицы видно, что при 80° упругость = 30" т. е. средней упругости атмосфернаго воздуха; эта упругость принадлежитъ воздуху тогда, когда точка кипѣнія опредѣлена точно при 80°. Слѣд. точка кипѣнія отличается отъ прочихъ температуръ только тѣмъ, что образующіеся при ней пары имѣютъ упругость равную упругости воздуха и что слѣд. они могутъ преодолѣть послѣднюю, какъ скоро температура ихъ сдѣлается немного больше.

Отъ этого происходитъ сильное волненіе при кипѣніи воды. —

§ 211.

Если пары въ барометрѣ A имѣютъ температуру 40°, а слѣд. и ртуть въ сравненіи съ барометромъ B понизилась на 3,6" и если уменьшимъ температуру на 30°, то не всѣ пары могутъ оставаться въ A, одна часть ихъ переходитъ въ жидкое состояніе до тѣхъ поръ, пока останется ихъ столько, что упругость ихъ будетъ равна 1,8". Но если температура останется таже 40° и мы уменьшимъ въ A пространство, въ которомъ находятся пары (напр. прибавляя ртути въ короткую вѣтвь барометра, если барометръ сифонный, или въ чашечку его), то хотя пониженіе въ A останется тоже, однако при уменьшеніи пространства паровъ количество ихъ также уменьшится и слѣд. одна часть ихъ опять должна перейти въ жидкое состояніе, потому что если бы одно и тоже количество осталось въ меньшемъ пространствѣ, то упругость ихъ должна бъ сдѣлаться больше при тойже температурѣ, что противно нашей прежней таблицѣ. Слѣд. если пространство *насыщено* парами т. е. если въ немъ находится столько паровъ, сколько ихъ по данной температурѣ можетъ заключаться, то часть ихъ переходитъ тотчасъ въ жидкое состояніе, какъ скоро уменьшается температура или увеличивается давленіе; этимъ различаются пары отъ прочихъ газовъ.

Если же пустое пространство не насыщено парами, но въ немъ находится только часть тѣхъ паровъ, которые при этой температурѣ моглибъ въ ней находиться, когда бы въ немъ было довольно воды для испаренія, то мож-

но и уменьшать температуру и увеличивать давленіе, безъ того, чтобъ часть паровъ превратилась въ воду, именно температуру можно уменьшать до того, что при ней находящіеся въ пространствѣ пары будутъ насыщать оное; давленіе же увеличивать до того, что пространство занимаемое парами наконецъ такъ уменьшится, что оно теперь наполнено будетъ парами до насыщенія. Если уменьшимъ температуру или увеличимъ давленіе еще болѣе, то одна часть паровъ обратится въ жидкость какъ прежде. Когда пары не насыщаютъ пространства (слѣд. когда въ немъ нѣтъ лишней воды, въ противномъ случаѣ оно сейчасъ насыщалось бы), то они имѣютъ свойства газовъ вообще; и въ самомъ дѣлѣ законъ Маріота касательно давленія имѣетъ мѣсто и для нихъ, какъ и для газовъ и расширеніе отъ теплоты равно расширенію всѣхъ газовъ, именно между 0° и 80° оно равно $1/3$ объема при 0. По этому можно всѣ газы принимать за пары, которые не насыщаютъ своего пространства, и въ самомъ дѣлѣ если настоящіе газы уменьшеніемъ температуры или увеличеніемъ давленія станемъ болѣе и болѣе приближать къ насыщенію, то нѣкоторые изъ нихъ переходятъ въ жидкое состояніе напр. углекислота, хлоръ и пр., другіе же, какъ напр. кислородъ, водородъ, азотъ и проч. до сихъ поръ еще недоведены до этого.

§ 212.

Упругость паровъ опредѣлена не только въ пустомъ пространствѣ, но также въ воздухѣ и въ другихъ газахъ и при этомъ нашли замѣчательный законъ, состоящій въ томъ, что при одной и тойже температурѣ, въ данномъ пространствѣ, наполненномъ воздухомъ, образуется столько

же паровъ и такойже упругости, какъ и въ пустомъ пространствѣ, когда оно насыщено парами, только съ тѣмъ различіемъ, что въ пустомъ пространствѣ всѣ пары образуются въ одно мгновеніе, между тѣмъ какъ на воздухѣ это происходитъ медленно, такъ что частицы паровъ требуютъ времени для того чтобы проникнуть между частицами воздуха. Этотъ законъ, по имени открывшаго оный, называется Дальтоновымъ. По этому, если въ стеклянный шаръ наполненный воздухомъ при температурѣ 20° нальемъ достаточное количество воды и закроемъ его краномъ, то нѣкоторое количество воды будетъ испаряться до тѣхъ поръ, пока упругость паровъ сдѣлается равною данной въ таблицѣ для 20° т. е. $= 0,96$. Слѣд. если сухой воздухъ при закрытіи шара имѣетъ упругость показываемую барометромъ, напр. 30″, то теперь упругость будетъ $30 + 0,96 = 30,96$, т. е. = суммѣ упругости воздуха и упругости водяныхъ паровъ. Итакъ, если откроемъ кранъ, то упругость влажнаго воздуха въ шарѣ будетъ больше упругости внѣшняго, слѣд. часть перваго будетъ выходить изъ шара, пока упругость оставшагося не сдѣлается равною упругости внѣшняго. Отъ этого въ шарѣ останется воздуху меньше прежняго и часть его будетъ замѣнена парами, но такъ какъ найдено, что плотность паровъ равна только $5/8$ плотности воздуха при одинаковомъ давленіи, то слѣдуетъ, что влажный воздухъ въ шарѣ долженъ быть легче внѣшняго воздуха или вообще влажные газы легче сухихъ при одномъ и томже давленіи.

Изъ предъидущаго слѣдуетъ, что находящіеся въ нашей отмосферѣ водяные пары также оказываютъ давленіе на барометръ, такъ что наблюдаемая нами высота барометра есть слѣдствіе двухъ давленій, давленія сухаго воздуха и давленія паровъ. При нѣкоторыхъ явленіяхъ это должно

быть принимаемо въ разсужденіе. Такъ напр. мы уже видѣли, что барометръ преимущественно подъ тропиками, но въ меньшей степени также и у насъ, два раза въ сутки достигаетъ наибольшей высоты и два раза наименьшей; первое имѣетъ мѣсто утромъ и вечеромъ въ 10 часовъ, послѣднее днемъ и ночью въ 4 часа. Такъ какъ эти часы на всѣхъ мѣстахъ земли, какую бы долготу они не имѣли, суть одни и тѣже, то солнце есть причина этого явленія и притомъ безъ сомнѣнія его нагрѣвающая сила; но здѣсь замѣчательно то, что въ продолженіи сутокъ теплота только одинъ разъ бываетъ наибольшею и одинъ разъ наименьшею или что здѣсь видимъ только одинъ періодъ, а тамъ замѣчены два. Но если примемъ въ разсужденіи то, что сказано выше, то мы должны отдѣльно изслѣдовать, какъ измѣняется упругость водяныхъ паровъ и какъ упругость сухаго воздуха отъ солнечной теплоты; отъ обоихъ вмѣстѣ зависятъ измѣненія барометра. Въ самомъ дѣлѣ такимъ образомъ нашли, что упругость паровъ бываетъ наибольшая въ 2 часа по полудни (слѣд. при наибольшей теплотѣ); при возхожденіи солнца она бываетъ наименьшая (слѣд. при наименьшей температурѣ воздуха), напротивъ давленіе сухаго воздуха при возхожденіи солнца бываетъ наибольшее, а въ 2 часа наименьшее. Такъ какъ эти измѣненія совершенно противоположны другъ другу, то они совершенно взаимно уничтожились бы, если бы они были равной величины; но этого не бываетъ; утромъ и вечеромъ въ 10 часовъ превозмогаетъ увеличиваніе упругости водяныхъ паровъ, а въ 4 часа уменьшеніе упругости сухаго воздуха; по этому барометръ утромъ и вечеромъ въ 10 часовъ показываетъ наибольшую высоту, а въ 4 часа наименьшую. И такъ явленіе барометрическихъ измѣненій будетъ объяснено, если мы можемъ объяснить

почему наибольшая влажность и наименьшее давленіе сухаго воздуха совпадаютъ съ наибольшею температурою въ 2 часа пополудни, и обратно наименшая влажность и наибольшее давленіе сухаго воздуха съ наименшею температурою при возхожденіи солнца. Что относится къ парамъ, то очевидно, что чѣмъ больше теплота, тѣмъ больше воды превращается въ пары и чѣмъ меньше теплота тѣмъ меньше; слѣд. съ теплотою упругость паровъ должна увеличиваться. Что касается до сухаго воздуха, то очевидно что теплѣйшая часть атмосферы въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ бываетъ 2 часа пополудни, расширяется больше всѣхъ, слѣд. эта часть поднимается у самыхъ предѣловъ атмосферы выше другихъ окружающихъ частей ея, и потомъ она должна стекать по нимъ. Пусть напр. E будетъ земля, (фиг. 265) PNLK предѣлы атмосферы и пусть масса воздуха MN будетъ нагрѣта болѣе нежели окружающая ее часть, слѣд. она расширяется до N′; но часть NN′, какъ жидкость, не можетъ выдаваться такимъ образомъ, слѣд. она будетъ стекать по обѣимъ сторонамъ; отъ этого вѣсъ части MN уменьшится, а слѣд. и давленіе на M, такъ что давленіе сдѣлается наименьшимъ, когда теплота будетъ наибольшая и на оборотъ при наименьшей теплотѣ въ массѣ воздуха вверху сдѣлается углубленіе, въ которое будутъ втекать окружающія частицы воздуха и слѣд. здѣсь давленіе на поверхность земли увеличится.

§ 213.

Въ предъидущемъ параграфѣ мы говорили, что по опытамъ упругость водяныхъ паровъ въ воздухѣ вмѣстѣ съ теплотою дня увеличивается; этимъ предполагается, что мы можемъ измѣрять упругость водяныхъ паровъ

въ воздухѣ. Приборы служащіе для этого называются *Гигрометрами* т. е. измѣрителями влажности воздуха. Прежде нежели приступимъ къ описанію этихъ инструментовъ, мы должны составить себѣ ясное понятіе о влажности. Мы называемъ воздухъ совершенно влажнымъ тогда, когда въ немъ столько содержится водяныхъ паровъ, сколько, при имѣющей мѣсто температурѣ, можетъ находиться въономъ. По этому если температура будетъ 20^0, то въ совершенно влажномъ воздухѣ паровъ будетъ находиться столько, что упругость ихъ будетъ равна 0,96; ибо это есть упругость, которую показываетъ наша таблица для паровъ въ пустомъ мѣстѣ при 20^0 и мы видѣли, что тоже число относится и къ пространству, наполненному воздухомъ. Ежели температура будетъ 10^0, то воздухъ будетъ уже совершенно влаженъ, если только упругость паровъ будетъ 0,45. Слѣд. видно, что влажность и количество паровъ сутъ двѣ различныя вещи, потому что въ обоихъ случаяхъ воздухъ былъ совершенно влаженъ, хотя количество паровъ весьма различно. Теперь, если при 20^0 упругость паровъ вмѣсто 0,96 равна 0,48, то и количество ихъ будетъ въ двое меньше и воздухъ будетъ не совершенно влаженъ. Степень влажности измѣряется отношеніемъ существующихъ паровъ къ тому количеству паровъ, которое во время совершеннаго насыщенія при существующей температурѣ моглобъ находиться въ этомъ пространствѣ, или, что все равно, отношеніемъ упругости существующихъ паровъ, къ упругости, которая принадлежитъ наблюдаемой температурѣ. Слѣд. въ нашемъ примѣрѣ влажность будетъ $= \frac{0,48}{0,96} = 0,5$ или вообще если влажность есть h, e наибольшая упругость паровъ, которая можетъ быть при наблюдаемой температурѣ, a упругость существующихъ паровъ, то будетъ:

$$h = \frac{a}{e}.$$

Если знаемъ температуру воздуха, то e можетъ быть взято изъ таблицы, данной выше, и еслибъ мы могли найти a, то влажность h будетъ извѣстна. Но a можно въ самомъ дѣлѣ найти, если часть воздуха подверженнаго изслѣдованію станемъ охлаждать до тѣхъ поръ, пока увидимъ, что часть паровъ перешла въ жидкое состояніе и если замѣтимъ температуру жидкости въ это мгновеніе; тогда упругость существующихъ паровъ натурально должна быть для этой температуры наибольшею и изъ нашей таблицы можно видѣть какая упругость принадлежитъ замѣченной температурѣ. Еслибъ напр. знали, что первые слѣды перехода паровъ въ жидкое состояніе начинаются при 15^0, то мы по таблицѣ знаемъ, что тогда пары имѣютъ упругость $= 0,67$; теперь если температура воздуха будетъ 20^0, то наибольщая упругость паровъ могла бы быть $= 0,96$; слѣд. влажность воздухъ $\frac{0,67}{0,96} = 0,70$.

И такъ нужно только замѣтить то мгновеніе, когда исподволь охлаждаемый воздухъ начинаетъ осаждать пары находящіеся въ немъ. Простое наблюденіе показываетъ намъ способъ сдѣлать это. Когда стаканъ съ холодною водою приносятъ въ теплую комнату, то видно бываетъ, что онъ на внѣшней части покрывается влажностію; это зависитъ очевидно отъ того, что части воздуха непосредственно окружающія стаканъ охлаждаются, пока наконецъ содержащіеся въ нихъ пары не могутъ болѣе существовать при низкой температурѣ, слѣд. они переходятъ въ жидкое состояніе и осаждаются на холодномъ стаканѣ въ видѣ пота. Если вмѣсто того, чтобъ брать прямо холодную воду въ стаканѣ, мы станемъ охлаждать постепенно

воду въ стаканѣ (напр. прибавляя туда льду) и вмѣстѣ посредствомъ термометра будемъ замѣчать температуру, то наконецъ дойдемъ до такого градуса охлажденія, при которомъ упругость содержащихся въ воздухѣ паровъ сдѣлается наибольшею для этой температуры и когда температура понизится еще больше, то на стаканѣ будетъ образоваться осадокъ паровъ. Слѣд. нужно только въ то мгновеніе, когда замѣчаютъ первые слѣды осадка паровъ, замѣтить температуру воды (эту температуру называютъ *точкою росы*), тогда изъ таблицы получаютъ упругость соотвѣтствующую этой температурѣ.

Чтобъ удобнѣе произвести постепенное охлажденіе, Даніель устроилъ гигрометръ слѣд. образомъ: A и B суть два шарика ровной величины соединенные между собою изогнутою трубкою CD (фиг. 266). Въ одномъ изъ нихъ A находится сѣрный эфиръ, котораго поверхность MN доходитъ почти до половины шарика; впрочемъ во всемъ приборѣ нѣтъ воздуха. Сѣрный эфиръ, какъ мы видѣли, есть жидкость весьма летучая, по этому его пары мгновенно наполняютъ пустое пространство трубки CD и шарика. Сей послѣдній покрытъ со внѣшнѣй стороны оболочкою изъ тонкой матеріи напр. изъ кисеи. Если на эту оболочку нальемъ нѣсколько капель сѣрнаго эфира, то онъ будетъ скоро испаряться; отъ этого произойдетъ холодъ, часть паровъ сѣрнаго эфира находящихся въ B сгустится въ жидкость, отъ этого въ B произойдетъ пустое пространство и пары опять будутъ подниматься съ поверхности MN и опять отъ холода въ B сгущаться въ жидкость и т. д. И такъ на поверхности MN происходитъ быстрое испареніе эфира, отъ этого происходитъ холодъ и шарикъ A пріобрѣтаетъ температуру болѣе и болѣе нискую, пока наконецъ она сдѣлается такъ ниска, что на

шарикѣ будетъ осаждаться роса изъ внѣшняго воздуха. Чтобъ легче можно было замѣтить появленіе росы, шарикъ A дѣлается изъ темнаго стекла или, еще лучше, при MN находится полоска изъ листоваго золота, на блестящей поверхности которой легко открыть малѣйшіе слѣды росы. Въ это мгновеніе замѣчаютъ температуру посредствомъ термометра LK, заключеннаго внутри прибора; шарикъ термометра находится подъ поверхностію MN эфира. Этотъ приборъ извѣстенъ подъ именемъ *Даніелева гигрометра*; по своей теоріи онъ есть лучшій изъ инструментовъ этого рода, только приготовить его трудно и онъ легко можетъ разбиться.

§ 211.

Къ опредѣленію точки росы можно дойти еще проще, употребляя 2 термометра; шарикъ одного изъ нихъ покрытъ кисейною оболочкою и намоченъ водою, а другой остается сухимъ. На смоченномъ шарикѣ вода испаряется и тѣмъ скорѣе, чѣмъ меньше насыщенъ парами воздухъ; если же онъ насыщенъ совершенно, то не можетъ принимать больше паровъ и слѣд. вода не будетъ испаряться. Такъ какъ отъ испаренія происходитъ холодъ, то смоченный термометръ будетъ показывать меньше градусовъ нежели сухой и притомъ разность будетъ тѣмъ больше, чѣмъ скорѣе испареніе, слѣд. чѣмъ суше воздухъ. Если температуру сухаго термометра означимъ чрезъ t, влажнаго чрезъ t', а упругость паровъ, соотвѣтствующую температурѣ t' и найденную по таблицамъ, подобнымъ таблицѣ въ § 209, чрезъ e', то точное изслѣдованіе этого предмета показываетъ, что, если барометръ стоитъ не болѣе дюйма выше или ниже 30″, то упругость находящихся въ воздухѣ паровъ или a опредѣляется формулою:

$$a = e' - \frac{3}{8}(t - t')$$

если упругость паровъ, соотвѣтствующюю температурѣ t, означимъ черезъ e, то влажность по предъидущему будетъ

$$h = \frac{a}{e}.$$

Точка росы найдется, если въ таблицѣ поищемъ температуру, соотвѣтствующую упругости a. Если температура t ниже 0, то влажная оболочка одного термометра покроется льдомъ, но и тогда этотъ термометръ будетъ показывать меньше градусовъ нежели другой, потому что и ледъ также испаряется; только при вычисленіи нужно брать не $\frac{3}{8}(t - t')$, но $\frac{1}{3}(t - t')$. Этотъ приборъ называется *Психрометръ Августа* и есть одинъ изъ удобнѣйшихъ и вмѣстѣ вѣрнѣйшихъ инструментовъ, которыми мы можемъ пользоваться. Если результаты его сравнимъ съ тѣми, которые получаются посредствомъ Даніелева гигрометра, то найдемъ что оба согласны между собою.

Наконецъ есть еще много другихъ гигрометровъ, которые всѣ основываются на томъ, что многія тѣла во влажномъ воздухѣ больше притягиваютъ въ себя изъ воздуха паровъ и сгущаютъ ихъ, нежели въ воздухѣ болѣе сухомъ; отъ этого они дѣлаются или тяжелѣе или длиннѣе. Одно изъ самыхъ обыкновенныхъ веществъ такого рода есть человѣческій волосъ; если онъ прежде употребленія чрезъ вывариваніе его въ растворѣ щелочи очищенъ отъ жирныхъ частицъ, то онъ значительно расширяется отъ влажности, а отъ сухости опять сжимается; на этомъ *Соссюръ* основалъ свой гигрометръ. Волосъ (фиг. 267) AB прикрѣпленъ къ нижней части мѣдной рамки MN въ A, при B онъ идетъ около блока C; на другомъ концѣ его привѣшена маленькая тяжесть Q, которою онъ натягивается. Когда отъ влажности онъ дѣлается длиннѣе, то тяжесть Q понижается и обращаетъ блокъ C, на которомъ укрѣпленная стрѣлка CD идетъ къ L; когда же въ сухомъ воздухѣ волосъ дѣлается короче, то Q поднимается и стрѣлка идетъ къ K. KL есть дуга, которая раздѣляется на 100 частей слѣд. образомъ: приборъ ставятъ въ запертое пространство наполненное воздухомъ, который совершенно осушается хлористымъ кальціемъ, соединеніемъ изъ хлора и метталла кальція, жадно поглащающимъ въ себя пары воздуха. Въ точкѣ, гдѣ останавливается стрѣлка, ставится 0; потомъ приборъ ставятъ въ запертый со всѣхъ сторонъ воздухъ, насыщенный парами и гдѣ останавливается стрѣлка, тамъ ставятъ 100. Дуга между 0 и 100 раздѣляется на 100 равныхъ частей. Показанія этого прибора зависятъ отъ влажности воздуха т. е. не отъ количества паровъ содержащихся въ воздуха, но отъ того, какъ близокъ онъ къ насыщенію; совершенно влажный воздухъ показываетъ всегда 100, хотя температура его, а слѣд. и количество паровъ, заключающихся въ немъ, могутъ быть весьма различны. И такъ мы опредѣляемъ черезъ этотъ приборъ влажность h; но такъ какъ мы знаемъ упругость e изъ таблицы, когда наблюдаемъ температуру воздуха, то мы можемъ найти также a и будетъ $a = \frac{h \cdot e}{100}$, ибо въ этомъ гигрометрѣ наибольшая влажность есть 100, между тѣмъ какъ въ прежнихъ гигрометрахъ мы приняли ее $= 1$, слѣд. показанія Соссюрова гигрометра мы должны прежде раздѣлить на 100, для того чтобъ можно было сравнить ихъ съ другими гигрометрами. Если напр. наблюдаемъ на гигрометрѣ Соссюра 60° при температурѣ 20°, то найдемъ изъ нашей таблицы (§ 209) $e = 0{,}96$ и слѣдственно упругость паровъ находящихся въ воздухѣ или

*

$$a = \frac{0,96.60}{100} = 0,58''$$

а точка росы, соотвѣтствующая этой упругости находится почти при 13°. Гигрометръ Соссюра удобенъ къ употребленiю, но для точности онъ требуетъ поправки, потому что расширенiе волоса не совершенно пропорцiонально увеличенiю влажности. Впрочемъ онъ имѣетъ еще ту большую невыгоду, что со временемъ волосъ мало по малу теряетъ свою чувствительность къ влажности, такъ что если по прошествiи одного года опять опредѣлить точки 0 и 100, какъ прежде, то онѣ будутъ ближе находиться одна отъ другой, нежели прежде. По этому необходимо отъ времени до времени повѣрять дѣленiе этого гигрометра.

§ 215.

Таблица упругости паровъ показываетъ намъ въ какой мѣрѣ упругость ихъ увеличивается съ повышенiемъ температуры и въ самомъ дѣлѣ упругость при 200° уже почти въ 39 разъ больше упругости атмосфернаго воздуха, такъ что если вода будетъ нагрѣваться въ сосудѣ закрытомъ со всѣхъ сторонъ болѣе и болѣе, то пары достигаютъ наконецъ до такой степени упругости, что сосудъ, если даже стѣнки его и изъ крѣпкаго металла, лопнетъ. Въ самомъ дѣлѣ атмосферный воздухъ давитъ на 1 квадратный дюймъ съ силою 16, 2 фунтовъ, слѣд. давленiе паровъ при 200° на 1 дюймъ почти равно 632 фунтамъ. — Итакъ посредствомъ паровъ можно произвести самыя большiя силы и нужно только распорядиться ими такъ, чтобъ онѣ произвели желаемое дѣйствiе, и мы будемъ имѣть весьма сильныя машины. Это бываетъ въ *паровыхъ машинахъ*. Мы

не можемъ здѣсь войти въ подробности этихъ удивительныхъ машинъ, но ограничимся только показанiемъ возможности произвесть посредствомъ паровъ правильное движенiе.

Для этого представимъ себѣ пустой желѣзный цилиндръ AB, въ которомъ движется плотный поршень Q (фиг. 268), стержень его QP проходитъ чрезъ крышку цилиндра, такъ что ни воздухъ ни пары не могутъ проходить между ними. Изъ цилиндра верху и внизу выходятъ 2 трубки, которыя можно открывать и закрывать кранами C и C'; обѣ трубки соединяются въ одну F проходящую въ крышку котла L, содержащаго воду до MN, которая снизу можетъ быть нагрѣваема; съ другой стороны тоже идутъ двѣ трубки на верху и внизу, имѣющiя краны D и D' и открывающiяся въ резервуаръ K, окруженный холодною водою и изъ котораго безпрерывно вытягивается воздухъ посредствомъ особеннаго насоса, который мы не будемъ здѣсь разсматривать подробнѣе. Сосудъ K называется *сгустителемъ*. Если представимъ себѣ, что весь приборъ не содержитъ въ себѣ нисколько воздуха, поршень Q находится вверху и всѣ краны закрыты и только открытъ кранъ C, то пары поднимающiеся изъ кипящей въ котлѣ воды войдутъ въ цилиндръ надъ поршень и своею упругостiю будутъ давить его внизъ, пока онъ дойдетъ до B. Если теперь закроемъ кранъ C, откроемъ C' и вмѣстѣ D, то пары находящiеся надъ Q, войдутъ чрезъ D въ пустой сгуститель K и превратятся въ воду, потому что сгуститель охлаждается окружающею водою. Отъ этого на сторонѣ A поршня происходитъ пустое пространство и такъ какъ вмѣстѣ съ этимъ пары взойдутъ чрезъ C' подъ поршень, то они поднимутъ его до A. Въ это мгновенiе C' и D, закрываются и открываютъ-

ся C и D′; отъ этого находящіеся подъ поршнемъ пары будутъ выходить чрезъ D′ въ сгуститель и осадятся тамъ, пары же выходящіе изъ котла чрезъ открытый кранъ C будутъ давить поршень внизъ. Онъ дойдетъ до B, тогда закрываются краны C и D′, а C′ и D открываются, слѣд. поршень опять пойдетъ вверхъ, какъ прежде и т. д., такъ что такимъ образомъ производится парами правильное движеніе поршня вверхъ и внизъ съ такою силою, которая зависитъ отъ поверхности поршня и температуры паровъ, и которая легко можетъ быть вычислена. Въ самомъ дѣлѣ пусть поверхность поршня будетъ = 1 квадратному футу, температура паровъ 80°; тогда упругость ихъ будетъ = 30″ т. е. $2\frac{1}{2}$ футамъ, слѣд. давленіе равно будетъ ртутному столбу, имѣющему 1 квадратный футъ въ основаніи и $2\frac{1}{2}$ фута въ высоту т. е. вѣсу $2\frac{1}{2}$ кубическихъ футовъ ртути. Одинъ кубическій футъ воды вѣситъ около 70 ф., а ртуть въ $13\frac{1}{2}$ разъ тяжелѣе воды слѣд. $2\frac{1}{2}$ кубическихъ футовъ ртути будутъ вѣсить $\frac{5}{2} \cdot 70 \cdot \frac{27}{2} = 2362\frac{1}{2}$ ф. или 59 пудовъ $2\frac{1}{2}$ фунта. Съ этою силою поршень будетъ давить вверхъ и внизъ. Движеніе стержня QP поршня въ ту и въ другую сторону можетъ быть употреблено для движенія машинъ въ томъ же самомъ видѣ, какъ напр. для движенія насосовъ, или оно можетъ быть измѣнено въ вращательное движеніе подобнымъ образомъ какъ въ токарномъ станкѣ движеніе туда и сюда, которое мы производимъ ногою, измѣняется въ вращательное движеніе. Такое вращательное движеніе производятъ паровыя машины напр. въ пароходахъ.

Можно было также заставить дѣйствовать пары на одну сторону поршня, между тѣмъ какъ остающіеся пары на другой сторонѣ не входятъ въ сгуститель K, но черезъ

краны D и D′ непосредственно въ воздухъ. Но въ семъ случаѣ каждый разъ съ этой стороны нужно преодолѣть давленіе воздуха, и пары должны имѣть въ котлѣ гораздо высшую температуру для того чтобъ они вопервыхъ могли противодѣйствовать давленію воздуха и, кромѣ того еще, пріобрѣсти перевѣсъ надъ нимъ для движенія машины; еслибъ напр. температура паровъ была 80°, то упругость паровъ былабъ равна упругости воздуха и слѣд. поршень не имѣлъ бы никакого движенія; дабы онъ при такой величинѣ могъ двигаться съ силою прежде вычисленною = 59 пуд. $2\frac{1}{2}$ фун., температура паровъ должна быть 97° потому что въ этомъ случаѣ упругость ихъ вдвое больше атмосфернаго противнаго давленія, а слѣд. дѣйствующею силою еще останется какъ прежде одно простое атмосферное давленіе. Такія машины, дѣйствующія противъ атмосфернаго давленія, называютъ машинами *съ высокимъ давленіемъ*; онѣ требуютъ большаго жару, нежели обыкновенныя паровыя машины *нискаго давленія*, но за то не требуютъ сгустителя со всѣми принадлежащими къ нему приборами, какъ напр. насоса для того чтобъ содержать его всегда пустымъ, холодной воды, для охлажденія его и проч.; слѣд. онѣ требуютъ меньше пространства и бываютъ легче. По этому болѣе всего употребляютъ ихъ тогда, когда и самая машина должна переноситься съ мѣста на мѣсто; напр. всѣ *паровозы* суть машины съ высокимъ давленіемъ.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

О ЛУЧИСТОМЪ ТЕПЛОРОДѢ.

§ 216

Мы уже разсмотрѣли теплородъ въ 3 состоянiяхъ, именно: 1, свободный теплородъ, дѣйствующiй на термометръ-2, удѣльный теплородъ -3, скрытый теплородъ. Теперь мы перейдемъ къ 4-му состоянiю его, гдѣ онъ является *лучистымъ теплородомъ*. Въ этомъ состоянiи теплородъ подобно свѣту выходитъ изъ тѣла въ видѣ лучей и распространяется по прямымъ линiямъ весьма на большiя пространства въ незамѣтно короткое время. Примѣръ такого лучистаго теплорода показываетъ солнечный свѣтъ, также огонь въ каминахъ и т. д. Лучи теплорода отражаются отъ зеркалъ по тѣмъ же законамъ, какъ и лучи свѣта, какъ это мы чувствуемъ, когда лѣтомъ проходимъ вблизи бѣлой стѣны, сильно освѣщенной солнцемъ. Однако самымъ разительнымъ образомъ доказывается, какъ существованiе лучистаго теплорода, такъ и его отраженiе по тѣмъ же законамъ, какъ и свѣтъ, посредствомъ слѣдующаго опыта, придуманнаго Пиктетомъ: два вогнутыя металлическiя зеркала (фиг. 269) ставятъ одно противъ другаго, какъ AB и FG на разстоянiи отъ 10 до 20 футовъ такъ что оптическiя оси ихъ совпадаютъ въ линiи CD; C и D суть главные фокусы ихъ. Въ C ставятъ горячее тѣло, напр. раскаленные угли или сосудъ съ горячею водою; теплота выходитъ лучами во всѣ стороны, слѣд. и къ зеркалу AB; эти лучи, такъ какъ они выходятъ изъ

главнаго фокуса C, отражаются, какъ лучи свѣта, параллельно оси зеркала и падаютъ такимъ образомъ на другое зеркало FG, которымъ они соединяются въ главный фокусъ его D. Если въ D поставить термометръ, то онъ весьма быстро будетъ подниматься, между тѣмъ, какъ выше и ниже D онъ показываетъ температуру воздуха; если въ металлической рѣшетчатой коробкѣ, наполненной раскаленнымъ углемъ, въ C будемъ сильно раздувать мѣхомъ угли, то въ D даже кусокъ сѣры загорается, хотя онъ находится въ такомъ большемъ разстоянiи отъ C. Это явленiе происходитъ какъ при 3, такъ и при 10 и при 20 футахъ разстоянiя обѣихъ зеркалъ, только при большемъ разстоянiи нужно тщательнѣе устанавливать зеркала. Если между зеркалами поставимъ ширму, то тотчасъ нагрѣванiе прекращается, какъ и надобно было ожидать. — Если въ C положимъ вмѣсто теплаго тѣла холодное, напр. кусокъ льду, а въ D поставимъ термометръ, то найдемъ что ртуть термометра тотчасъ понизится на нѣсколько градусовъ. Это замѣчательное явленiе привело къ теорiи лучистаго теплорода, которая извѣстна подъ именемъ *подвижнаго равновѣсiя* и содержитъ въ себѣ ключь ко многимъ явленiямъ. По ней всякое тѣло безпрерывно выпускаетъ изъ себя лучами теплородъ, котораго количество зависитъ отъ температуры тѣла и его поверхности; чѣмъ больше температура, тѣмъ больше въ каждое мгновенiе выходитъ лучей изъ тѣла.

Что и поверхность имѣетъ влiянiе на количество выходящаго лучистаго теплорода, доказывается обыкновенно слѣд. образомъ. На пустомъ мѣдномъ кубѣ одну внѣшнюю сторону оставляютъ полированною и противоположную ей матовою, потомъ ставятъ кубъ между шарами дифференцiальнаго термометра (§ 200) полированною сторо-

ною къ A (фиг. 256), а матовою къ B и наполняютъ его кипяткомъ; тотчасъ будетъ видно, что капля *m* въ трубкѣ CD подвигается къ C, а этимъ доказывается, что шарикъ B принимаетъ отъ матовой стороны больше тепла, нежели шарикъ A отъ полированной. Капля *m* еще болѣе подвигается, если матовая сторона будетъ покрыта сажею, отъ чего она становится еще шероховатѣе. Но если матовая поверхность испускаетъ изъ себя больше теплоты, то съ дрогой стороны она и поглощаетъ въ себя въ томъ же отношеніи больше лучистой теплоты, когда она бываетъ подвержена ей. Это можно доказать подобнымъ образомъ, если въ кубѣ обѣ стороны сдѣлаемъ равно шлифованными, шарикъ же A покроемъ позолотою, а B сажею; опять капля *m* будетъ подвинута къ C, потому что шаръ B поглотитъ больше теплоты, между тѣмъ, какъ позолоченный, слѣд. полированный, отразитъ большую часть.

И такъ по изложенной теоріи, если многія тѣла находятся въ комнатѣ и температура ихъ будетъ одинакова, то это происходитъ не отъ того, что находящаяся въ нихъ теплота остается въ томъ же состояніи, но наоборотъ они безпрестанно испускаютъ изъ себя лучи теплорода во всѣхъ направленіяхъ и температура ихъ не понижается только потому, что всѣ они въ каждое мгновеніе столько же получаютъ теплоты, сколько испускаютъ изъ себя. Если напр. одно изъ нихъ имѣетъ передъ прочими весьма полированную поверхность, то хотя оно меньше испускаетъ изъ себя лучей, нежели прочія, но за то оно въ томъ же отношеніи меньше и принимаетъ въ себя выходящихъ изъ другихъ тѣлъ лучей и по этому удерживаетъ свою температуру. Предположивши это, легко объяснить почему кусокъ льду въ опытѣ съ двумя вогнутыми зеркалами понижаетъ термометръ; въ самомъ дѣлѣ термометръ въ D испускаетъ лучи къ зеркалу FG, которые падаютъ на AB и въ C соединяются па льдѣ; ледъ съ своей стороны также испускаетъ свои лучи къ AB, которые падаютъ на FG и соединяются въ D на шарикѣ термометра. Но количество лучей испускаемыхъ термометромъ больше количества лучей, выходящихъ изъ льда, потому что температура термометра выше; слѣд. термометръ получаетъ отъ своего зеркала меньше лучей, нежели сколько испускаетъ на него, и по этому онъ необходимо долженъ охлаждаться.

§ 217.

Разсмотримъ теперь нѣкоторыя явленія, объясняющіяся изъ изложенной теоріи подвижнаго равновѣсія лучистаго теплорода. Наша земля, какъ и всѣ другія тѣла, безпрестанно испускаетъ изъ себя къ небесному своду лучи теплорода. Если небо пасмурно, то земля опять получаетъ часть лучей отъ облаковъ, хотя и въ меньшемъ количествѣ, потому что температура облаковъ меньше температуры земли; если же небо ясно, то вверху нѣтъ тѣла, отъ котораго лучи возвращались бы опять къ землѣ, а поэтому земля безпрерывно теряетъ свою теплоту безъ вознагражденія, и слѣд должна сдѣлаться холоднѣе. Это мы находимъ въ самомъ дѣлѣ ночью; но днемъ солнце противудѣйствуетъ этому охлажденію, и, по причинѣ большей своей температуры, даетъ землѣ гораздо больше теплоты, нежели сколько оно само получаетъ отъ земли; отъ этого въ ясные дни земля больше нагрѣвается, нежели въ пасмурные. Лѣтомъ, когда дни такъ долги и солнце такъ сильно грѣетъ по причинѣ большей высоты надъ горизонтомъ, дѣйствіе солнца сильнѣе; по этому лѣтомъ темпе-

ратура въ ясные дни у насъ бываетъ больше, нежели въ пасмурные. Зимою напротивъ солнце только нѣсколько часовъ бываетъ надъ горизонтомъ и то такъ нискo, что оно мало грѣетъ; слѣд. въ это время охлажденіе отъ лучеиспусканія, особенно въ длинныя ночи, гораздо болѣе имѣетъ перевѣсу и потому ясные дни зимой суть и холоднѣйшіе. И такъ ясность дней не есть слѣдствіе холода, какъ иногда говорятъ, но наоборотъ холодъ есть слѣдствіе яснаго неба; еще меньше луна, которая какъ само собою разумѣется видима бываетъ только въ ясные дни, есть причина холода, какъ часто говорятъ, но морозы и ясное сіяніе луны суть слѣдствія одной и тойже причины т. е. ясности неба.

Когда въ лѣтніе вечера послѣ ясныхъ дней небо бываетъ чисто и воздухъ спокоенъ, то отъ лучеиспусканія теплоты отъ земли къ небесному пространству происходитъ сильное охлажденіе ея, между тѣмъ какъ эта причина мало только дѣйствуетъ на охлажденіе самого воздуха, потому что по опыту извѣстно, что чѣмъ прозрачнѣе тѣло, тѣмъ меньше оно испускаетъ теплоты. По этому охлажденная поверхность земли находится въ воздухѣ, въ которомъ при высокой температурѣ предъидущаго дня растворено большое количество водяныхъ паровъ; отъ этого должно произойти то, что мы замѣчаемъ вообще когда холодное тѣло поставлено бываетъ въ тепломъ и влажномъ воздухѣ; на немъ осаждается влага, точно также какъ на охлажденномъ шарикѣ Даніелева гигрометра и по тѣмъ же причинамъ, которыя тамъ изложены; эта влага собирается на тѣлахъ не увлаживаемыхъ водою въ видѣ капель и въ этомъ видѣ мы знаемъ явленіе подъ именемъ *росы*. По этому очевидно, почему роса образуется преимущественно въ ясныя и особенно въ тихія ночи; во время вѣтреныхъ ночей росы не бываетъ, потому что отъ вѣтру слои воздуха всегда перемѣшиваются, такъ что они по перемѣнно приходятъ въ прикосновеніе съ землею и прежде нежели охладятся до того, чтобъ осадить пары въ видѣ воды, опять уносятся. Если часть земной поверхности покроемъ чѣмъ нибудь, напр. раскинемъ палатку, то здѣсь лучи опять возвратятся къ землѣ; слѣд. она не такъ сильно охладится и росы не будетъ на ней, какъ это доказывается и опытомъ. Тѣла съ шероховатою поверхностію, напр. бумага, больше покрываются росою, нежели тѣла съ гладкою поверхностію, напр. полированныя металлическія пластинки, потому что отъ шероховатости поверхности увеличивается способность тѣлъ испускать теплоту въ видѣ лучей и вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается и охлажденіе. Наконецъ легко понять отъ чего роса, когда часть земной поверхности покрыта бываетъ стекломъ, образуется также и подъ стекломъ, если прибавимъ, что лучи теплорода проходятъ чрезъ прозрачныя тѣла подобно лучамъ свѣта.

Ночное лучеиспусканіе теплоты къ ясному небу есть причина того, почему весною въ ясные ночи растенія часто терпятъ отъ мороза, между тѣмъ какъ термометръ въ воздухѣ не показываетъ ниже 0 и также легко понять, какъ можно предохранить ихъ отъ этого, покрывая ихъ чѣмъ нибудь. Дабы въ такія ясныя ночи предохранить полевые плоды отъ вреднаго вліянія холода на высокихъ равнинахъ южной Америки, разводятъ огонь изъ сырыхъ кустарниковъ со стороны вѣтра, такъ что обильно освобождающійся дымъ вѣтромъ сносится на поля и помрачаетъ небо — средство, которое и у насъ опытными земледѣльцами иногда употребляется. Наконецъ такимъ образомъ объясняется употребляемое въ Остъ-Индіи иску-

ственное составленіе льда. Въ ясныя тихія ночи, въ весьма плоскихъ и нискихъ сосудахъ, не муравленыхъ, съ шероховатою поверхностію, положенныхъ на солому, выставляютъ воду подъ открытымъ небомъ; утромъ предъ восхожденіемъ солнца находятъ ее замерзшею. Сосуды съ шероховатою поверхностію испускаютъ лучистую теплоту къ ясному небу чрезъ слои воды, покрывающія ихъ, и отъ земли получаютъ весьма малый притокъ теплоты по причинѣ отмѣнно худой теплопроводности соломы; такъ что вмѣстѣ съ ними находящаяся въ нихъ вода охлаждается ниже 0 и въ слѣдствіе того замерзаетъ.

§ 218.

Какъ лучи теплорода распространяются по прямымъ линіямъ и отражаются подобно свѣту, такъ они имѣютъ почти и всѣ другія свойства общія съ свѣтомъ; они преломляются въ разныхъ срединахъ, подвержены двойному преломленію и поляризаціи и показываютъ явленіе совершенно сходное съ разложеніемъ свѣта на цвѣты. Но существенное различіе, между лучами теплорода и лучами свѣта, состоитъ въ томъ, что изъ тѣхъ срединъ, которыя весьма прозрачны для свѣта, нѣкоторыя почти не проходимы для теплоты, и наоборотъ нѣкоторыя средины совершенно не прозрачныя пропускаютъ значительное количество теплородныхъ лучей. Такъ какъ нѣкоторые прозрачныя тѣла пропускаютъ лучи только извѣстныхъ цвѣтовъ, напр. зеленыя стекла зеленые лучи, красныя красные лучи, такъ и большая часть тѣлъ пропускаетъ теплородные лучи особеннаго рода, а другіе удерживаетъ; напр. квасцы, столькоже прозрачное тѣло какъ и стекло, не пропускаютъ почти ни одного теплороднаго луча, выходящаго изъ кипящей воды, напротивъ пропускаютъ много, выходящихъ изъ аргантовой лампы; черное стекло, изъ кото-

раго дѣлаются черныя зеркала, совершенно не прозрачно даже для сильнѣйшихъ лучей солнечнаго свѣта, однако чрезъ него проходятъ теплые лучи лампы; наконецъ есть одно тѣло, и до сихъ поръ только одно, каменная соль, которая пропускаетъ всѣ лучи теплорода въ равной степени, изъ какого бы источника они не происходили, и изъ всѣхъ ихъ поглощаетъ только весьма малую часть Слѣд. одна только каменная соль для теплыхъ лучей есть то, что совершенно прозрачное тѣло для свѣта; по этому зажигательное стекло изъ каменной соли даетъ въ своемъ фокусѣ весьма значительную теплоту даже отъ слабыхъ источниковъ теплоты, напр. отъ пламени камина. Это различное отношеніе лучей теплорода къ лучамъ свѣта приводитъ насъ въ необходимость означить способность лучей теплорода проходить черезъ тѣло такимъ словомъ, которое соотвѣтствуетъ слову прозрачный; для этого избрали слово *діатермическій* (*diathermane*). Обыкновенное стекло легко только пропускаетъ лучи выходящіе изъ весьма сильныхъ источниковъ теплоты, напр. изъ солнца, лучи же выходящіе изъ слабыхъ источниковъ труднѣе. На этомъ основывается то, что наши содовники сажаютъ весною тѣ овощи, которые должны созрѣть скорѣе, въ ящикахъ и закрываютъ стеклами, которыя обращены къ солнцу. Солнечные теплородные лучи легко проходятъ чрезъ стекло, нагрѣваютъ землю въ ящикахъ, между тѣмъ какъ лучи, выходящіе изъ этой нагрѣтой земли, слишкомъ слабы для того, чтобъ пройти чрезъ стекло и такимъ образомъ теплота собирается подъ стеклами, такъ что ненужно нагрѣвать ящиковъ.

Когда солнечный лучь преломляется призмою изъ каменной соли, то получается призматическій спектръ съ извѣстными цвѣтами; если въ каждомъ изъ цвѣтовъ по-

ставимъ термометръ, то найдемъ, что онъ менѣе всего нагрѣвается въ фіолетовомъ, а въ другихъ цвѣтахъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше они приближаются къ красному концу спектра. Но замѣчательно то, что и въ красномъ цвѣтѣ термометръ нагрѣвается не наибольшимъ образомъ; но температура еще увеличивается въ темномъ пространствѣ за краснымъ цвѣтомъ и достигаетъ здѣсь наибольшей величины на такомъ разстояніи отъ краснаго конца спектра, на какое отстоитъ по другую сторону зеленый цвѣтъ отъ краснаго конца. Слѣд. въ солнечныхъ лучахъ есть теплородные лучи, которые преломляются гораздо меньше красныхъ лучей свѣта и они находятся въ немъ въ большемъ количествѣ, нежели другіе болѣе преломляющіеся теплородные лучи; и такъ *спектръ теплоты* отличенъ отъ *спектра цвѣтовъ*. Если вмѣсто призмы изъ каменной соли, возмемъ обыкновенную кронгласовую призму, то здѣсь входитъ то обстоятельство, что кронгласъ не діатермическій, такъ сказать не прозраченъ, для этихъ наименѣе преломляющихся лучей теплорода; отъ того ихъ недостаетъ въ спектрѣ изъ кронгласовой призмы и наибольшая теплота находится въ красномъ цвѣтѣ. Наконецъ призма изъ воды даже для теплородныхъ лучей, преломляющихся также какъ красный цвѣтъ, не проходима. Слѣд. термометръ здѣсь показываетъ весьма мало теплоты и желтый цвѣтъ имѣетъ наибольшую теплоту. И такъ положеніе наибольшей теплоты въ спекртѣ зависитъ отъ существа призмы. Призма изъ флинтгласа даетъ наибольшую теплоту не много внѣ краснаго конца спектра, только не такъ далеко отъ него, какъ въ призмѣ совершенно діатермической изъ каменной соли. Это явленіе долго не знали какъ изъяснить, пока Меллони, нѣсколько лѣтъ тому назадъ, открылъ діатермическое свойство прозрачныхъ тѣлъ.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

ОБЪ ИСТОЧНИКАХЪ ТЕПЛОТЫ.

§ 219.

Главный источникъ теплоты на землѣ суть *солнечные лучи*; такъ какъ теплородные лучи солнца движутся по законамъ подобнымъ законамъ лучей свѣта, то количество теплородныхъ лучей, падающихъ на извѣстную поверхность, опредѣляется также, какъ количество лучей свѣта, т. е. оно находится въ обратномъ отношеніи съ квадратами разстояній солнца, и въ прямомъ съ синусами угловъ, составляемыхъ падающими лучами съ поверхностію; но такъ какъ разстояніе солнца отъ земли въ продолженіи года измѣняется весьма мало, то разность въ количествѣ падающихъ лучей незамѣтна, и нагрѣваніе зависитъ только отъ косвенности, подъ которою лучи падаютъ; отъ этого происходитъ разность нагрѣванія подъ тропиками, гдѣ солнце въ полдень стоитъ прямо надъ головою жителей, и подъ большими широтами, гдѣ оно не много только возвышается надъ горизонтомъ; отъ этого же происходитъ разность солнечной теплоты у насъ лѣтомъ и зимою, когда высота солнца измѣняется отъ 53° до 7°. Впрочемъ съ этимъ соединяются еще два обстоятельства, отъ которыхъ разность временъ года у насъ дѣлается еще замѣтнѣе; первое состоитъ въ большей долготѣ дней лѣтомъ нежели зимою, второе въ томъ, что, при низкомъ положеніи

солнца, лучи его проходящіе чрезъ нижнія части атмосферы, гдѣ эта средина менѣе прозрачна, весьма ослабляются и притомъ теплородные лучи болѣе, нежели лучи свѣта, потому что воздухъ и пары не столько діатермически, сколько прозрачны. Впрочемъ косвенностію солнечныхъ лучей опредѣляется только количество лучей, падающихъ на извѣстную плоскость, нагрѣваніе же зависитъ отъ свойства тѣлъ, на которыя падаютъ лучи. Чѣмъ прозрачнѣе тѣла, тѣмъ болѣе проходитъ чрезъ нихъ солнечныхъ лучей безъ нагрѣванія; чѣмъ больше отражается лучей, тѣмъ меньше нагрѣваніе. По этому черныя тѣла нагрѣваются больше, бѣлыя меньше, темныя больше, нежели свѣтлыя; по этому въ жаркое лѣто носятъ свѣтлое платье и пр.

Второй источникъ теплоты суть *химическія соединенія*, къ которымъ прежде всѣхъ относится такъ называемое горѣніе тѣлъ, потому что, какъ мы уже видѣли, оно есть ничто иное, какъ соединеніе горящаго тѣла съ кислородомъ. Однако не только при собственномъ горѣніи, но и при многихъ другихъ химическихъ соединеніяхъ освобождается теплота, напр. при соединеніи воды съ сѣрною кислотою, при раствореніи металловъ въ кислотахъ и проч. Только въ такихъ случаяхъ, когда одно изъ тѣлъ при соединеніи переходитъ изъ твердаго состоянія въ жидкое и слѣд. скрываетъ нѣкоторое количество теплорода, производится холодъ, чему мы уже видѣли выше примѣры (§ 207). Мы приведемъ еще одинъ особенный родъ происхожденія теплоты, при которомъ химическое соединеніе двухъ тѣлъ производится однимъ только присутствіемъ третьяго тѣла. Если струю водороднаго газа пропустимъ въ атмосферный воздухъ, то онъ не соединится съ кислородомъ воздуха, но для этого нужно приблизить къ

нему раскаленное тѣло. Но если пустимъ струю водорода на платиновую поверхность, лучше всего на такъ называемую губчатую платину (т. е. платинну въ видѣ мелкаго порошка, получаемаго чрезъ обжиганіе соединенія изъ платины и нашатыря), то отъ ней платина нагрѣвается болѣе и болѣе пока наконецъ она накалится и съ своей стороны зажжетъ газъ. Этимъ свойствомъ губчатой платины пользуются въ извѣстномъ водородномъ огнивѣ, въ которомъ водородъ изъ резервуара протекаетъ чрезъ отверстіе крана на губчатую платину, пока онъ не загорится; это огниво столь извѣстно, что мы не будемъ подробно разсматривать оное. Тоже свойство платины имѣютъ и другіе металлы въ чистомъ и въ мелкораздробленномъ состояніи, какъ то: Палладій, Родій, Иридій и проч., также и другія тѣла, какъ уголь, стекло и проч., только ихъ должно прежде нагрѣть до 200°. Въ чемъ состоитъ это удивительное свойство, это до сихъ поръ еще несовершенно рѣшено.

Третій источникъ теплоты есть *жизнь животныхъ* и производимая ею теплота называемая также животною теплотою. Мы уже познакомились съ нѣкоторыми слѣдствіями ея.

Четвертый источникъ теплоты есть *сжатіе тѣлъ* и *треніе*; послѣднее вѣроятно происходитъ отъ сжатія частицъ, которыя трутся одна объ другую. Извѣстно, что дикіе народы достаютъ себѣ огонь посредствомъ тренія разнородныхъ деревъ; извѣстно также, что ударъ стали о твердой кремень производитъ искру, потому что отъ сильнаго тренія частицы стали отрываются острымъ кремнемъ, и при этомъ такъ сильно трутся, что раскаляются и горятъ въ кислородѣ воздуха. Также если сильно сжать газы, то они нагрѣваются; есть огниво, состоящее изъ

маленькаго пустаго цилиндра, на днѣ закрытаго, въ которомъ двигается поршень; на внутреннемъ концѣ его прикрѣплено не много труту. Если скоро вдвинемъ поршень въ цилиндръ, такъ чтобъ воздухъ его вдругъ сжатъ былъ сильно, то трутъ загорится. Если сдѣлаемъ это въ стеклянномъ цилиндрѣ и въ темнотѣ, то въ сжатомъ газѣ появляется свѣтъ зависящій отъ зажиганія масла, которымъ намазанъ поршень.

Появленіе теплоты при сжатіи газовъ зависитъ отъ того, что газы при большей плотности имѣютъ теплоемкость меньше нежели прежде; количество теплоты, которое прежде сжатія нужно было для того, чтобъ газъ показывалъ температуру компаты 14°, послѣ сжатія уже слишкомъ велико для этого; слѣд. она какъ свободная теплота, дѣйствуетъ на термометръ или на зажиганіе трута, если она при быстромъ сжатіи не имѣетъ времени для того, чтобъ выттн чрезъ проводники – поршень и цилиндръ. Изъ этого наоборотъ слѣдуетъ, что при расширеніи газа, теплоемкость его становится больше и что слѣд. прежнее количество теплорода недостаточно для показанія температуры 14° и въ слѣдствіе этого, при расширеніи газовъ, температура ихъ должна понижаться. Въ этомъ можемъ убѣдиться если изъ подъ колокола посредствомъ воздушнаго насоса вытянемъ воздухъ и поставимъ туда весьма чувствительный термометръ, при первомъ взмахѣ насоса термометръ упадаетъ иногда на 8° ниже прежняго стоянія.

Пятый источникъ теплорода есть *частичное дѣйствіе волосности.* Если мелкій порошокъ или песокъ смочить водою, то при всасываніи воды въ промежутки порошка освобождается теплота, обыкновенно въ незначительномъ количествѣ, но иногда температура увеличивается на 8°.

Наконецъ о 6-омъ источникѣ теплоты т. е. объ электричествѣ, мы будемъ говорить послѣ.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

О ЯВЛЕНІЯХЪ ВЪ НАШЕЙ АТМОСФЕРѢ, ЗАВИСЯЩИХЪ ОТЪ ТЕПЛОТЫ.

§ 220.

Отъ теплоты происходятъ на земной поверхности явленія, которыя имѣютъ на нашу физическую жизнь самое существенное вліяніе, потому что отъ нихъ зависятъ *климаты* разныхъ странъ. Чтобъ ясно представить себѣ расположеніе теплоты на землѣ мы должны имѣть въ виду положеніе земли въ отношеніи къ солнцу. И такъ представимъ себѣ шаръ, имѣющій въ діаметрѣ 12,000 верстъ, который такъ быстро обращается около своей оси, что какая нибудь точка на экваторѣ проходитъ $^3/_7$ версты въ секунду, а подъ большими широтами все меньше и меньше, и который окруженъ шарообразною воздушною оболочкою, плотность коей съ увеличеніемъ разстоянія отъ земли уменьшается и которая впрочемъ участвуетъ въ скорости вращенія самаго шара. Шаръ обращаясь такимъ образомъ вмѣстѣ съ воздушною оболочкою, движется также вмѣстѣ съ нею около солнца, по эллиптическому мало отступающему отъ круговаго пути въ такой плоскости, къ

которой ось земли наклонена подъ 67°. Отъ наклоненія оси, какъ извѣстно изъ Физической Географіи, зависятъ времена года. Во время нашего лѣта, когда сѣверная часть оси наклоняется къ солнцу, земля находится въ части своей орбиты, болѣе отдаленной отъ солнца и движется съ меньшею скоростію; во время нашей зимы напротивъ она движется въ ближайшей къ солнцу части орбиты и съ большею скоростію; отъ этого происходитъ, что солнце остается почти 8 днями болѣе на сѣверной, нежели на южной сторонѣ экватора. Но все это можно предполагать извѣстнымъ изъ Географіи.

Мы уже упоминали, что малое измѣненіе въ разстояніи солнца не имѣетъ никакаго замѣтнаго вліянія на измѣненіе нагрѣванія и тѣмъ еще болѣе, что наибольшее удаленіе солнца въ наше лѣто вознаграждается тѣмъ, что солнце долѣе остается въ сѣверномъ полушаріи; но главное вліяніе на нагрѣваніе происходитъ отъ большаго или меньшаго угла, составляемаго солнцемъ съ плоскостію горизонта, и отъ этого зависитъ разность поясовъ, жаркаго или тропическаго, умѣренныхъ и холодныхъ. Если ANBS представляетъ шаръ земной (фиг. 270), NS ось его, AB экваторъ, CD и C′D′ поворотные круги, EF и E′F′ полярные круги, то внутри тропиковъ между CD и C′D′ воздухъ будетъ нагрѣтъ наиболѣе, менѣе между поворотными и полярными кругами т.е. между CD и EF, а между CF и N и между E′F′ и N′ онъ будетъ самый холодный. Отъ бо́льшей теплоты воздуха между тропиками, нежели внѣ тропиковъ, произойдетъ тоже, что бываетъ, когда двери теплой комнаты будутъ отворены во внѣшній холодный воздухъ; воздухъ внизу будетъ стремиться изъ холоднаго пространства въ теплое, а вверху изъ теплаго въ холодное. Отъ этого внизу послѣдуетъ теченіе воздуха отъ

обоихъ полюсовъ земли къ экватору, а вверху отъ экватора къ полюсамъ; но такъ какъ мы живемъ на днѣ воздушнаго океана, то въ сѣверномъ полушаріи будетъ имѣть мѣсто постоянный сѣверный вѣтръ, а на южномъ постоянный южный; но здѣсь нужно принять еще въ разсужденіе слѣдующее обстоятельство. Если представимъ себѣ на сѣверномъ полушаріи между двумя меридіанами воздухъ, текущій отъ сѣвера къ югу, то онъ течетъ какъ будто въ руслѣ, мало помалу расширяющемся, потому что разстояніе между меридіанами по мѣрѣ приближенія къ экватору дѣлается больше; напротивъ вверху воздухъ течетъ изъ болѣе широкаго русла въ менѣе широкое; слѣд. верхнее теченіе должно понижаться, такъ что наконецъ оно достигнетъ дна т. е. поверхности земли и этимъ удержитъ противное, нижнее теченіе; слѣд. нижнее сѣверное теченіе воздуха начнется не отъ самаго полюса, но отъ какой нибудь средней широты, до экватора; верхнее же южное начиная отъ эквартора болѣе и болѣе будетъ понижаться, пока наконецъ дальше къ сѣверу отъ начала сѣвернаго нижняго теченія не достигнетъ до поверхности; отъ этого болѣе къ сѣверу произойдетъ внизу южное теченіе. Подобное разсужденіе только въ обратномъ порядкѣ можно приложить и къ южному полушарію; южный нижній вѣтръ начнется подъ какою нибудь южною широтою, а верхній сѣверной достигнетъ до поверхности земли подъ широтою немного большею. Приложенная фигура 271 представляетъ земной шаръ съ осью NS, и экваторомъ AB; линіи *mnop* стрѣлками показываютъ направленіе воздушныхъ теченій.

Такимъ образомъ происходилобъ это явленіе, еслибъ земля не обращалась около своей оси; но такъ какъ она обращается съ запада на востокъ, то отъ этого и явленіе

измѣняется. Частицы нижняго воздуха въ сѣверномъ полушаріи стремясь къ югу идутъ изъ такой страны, гдѣ онѣ, при обращеніи земли, имѣютъ меньшую скорость отъ запада къ востоку, въ такую страну, гдѣ скорость движенія частицъ къ востоку на земной поверхности бываетъ больше; слѣд. онѣ въ началѣ отстанутъ къ западу отъ земли, пока отъ дѣйствія тренія не получатъ скорости находящихся здѣсь частицъ и въ отношеніи къ намъ, которые движемся вмѣстѣ съ твердою поверхностію земли, эти отстающія частицы должны дѣйствовать какъ восточный вѣтръ; но такъ какъ первоначальное движеніе воздуха было сѣверное, то соединенное движеніе будетъ казаться *сѣверо-восточнымъ вѣтромъ*; подобнымъ образомъ на южномъ полушаріи это движеніе покажется *юго-восточнымъ вѣтромъ*. Наоборотъ, такъ какъ частицы воздуха, идущія отъ экватора къ полюсу приходятъ въ такую страну, гдѣ скорость вращенія меньше, то верхнее теченіе воздуха въ сѣверномъ полушаріи будетъ казаться *вѣтромъ юго-западнымъ*, а въ южномъ полушаріи *сѣверозападнымъ*. По этому въ нашей фигурѣ для вѣрнаго изображенія явленій мы должны дать этимъ теченіямъ косвенное направленіе, сѣвернымъ отъ сѣверо-востока къ юго-западу, южнымъ отъ юго-востока къ сѣверо-западу. Но мы здѣсь должны еще принять въ разсужденіе другое обстоятельство т. е. способность земной поверхности согрѣваться, смотря по свойству ея. Здѣсь мы находимъ, что твердая земля согрѣвается солнечными лучами болѣе, нежели вода и въ этомъ состоитъ существенная причина, почему количество теплоты на сѣверномъ полушаріи больше, нежели на южномъ, какъ показали наблюденія; слѣд. линія раздѣленія равныхъ количествъ теплоты лежитъ на сѣверъ отъ экватора; посему и граница между обоими те-

ченіями воздуха въ сѣверномъ и южномъ полушаріяхъ лежитъ не на экваторѣ но нѣсколько къ сѣверу отъ него.

Всѣ эти явленія выведенныя теоретически, подтверждаются въ природѣ извѣстнымъ явленіемъ *пассатныхъ вѣтровъ*, которые въ продолженіи цѣлаго года въ Атлантическомъ и Тихомъ океанахъ дуютъ правильно въ сѣверномъ полушаріи отъ сѣверо-востока, въ южномъ отъ юго-востока. На сѣверѣ граница ихъ лежитъ подъ 4° и здѣсь подъ широтою нѣсколькихъ градусовъ находится поясъ, который называется *поясомъ безвѣтрія* и есть слѣдствіе столкновенія обѣихъ теченій воздуха. Но хотя направленіе вѣтра въ продолженіи всего года постоянно, однако положеніе этого пояса измѣняется. Во время нашего лѣта, когда сѣверное полушаріе нагрѣвается сильнѣе южнаго, поясъ безвѣтрія подымается нѣсколько къ сѣверу въ обоихъ океанахъ, но не столь много, чтобъ нижній край его перешелъ чрезъ прежнее положеніе верхняго; вовремя нашей зимы, когда южное полушаріе нагрѣвается больше, онъ подвигается къ югу, но и теперь сѣверный край не переступитъ чрезъ лѣтнее положеніе южнаго края. Отъ этого движенія, въ земляхъ лежащихъ на границахъ пояса, въ продолженіи полугода дуютъ вѣтры сѣверо-восточный или юго-восточный (смотря потому, лежатъ ли они на сѣверной или южной границѣ пояса), а другую половину года бываетъ безвѣтріе, которое сопровождается сильными дождями и называется здѣсь *дождливымъ временемъ*, между тѣмъ какъ во время нассатныхъ вѣтровъ почти всегда бываетъ ясная погода. Совсемъ иначе происходитъ движеніе пояса безвѣтрія въ Индѣйскомъ океанѣ, потому что здѣсь къ сѣверу отъ экватора обстоятельства отличны отъ тѣхъ, которыя находятся къ югу. Именно къ сѣверу отъ него лежитъ твер-

дая земля весьма обширная — Азія, а къ югу водяная поверхность Индѣйскаго океана. Отъ этого во время нашего лѣта сѣверная твердая половина согрѣвается солнцемъ несравненно больше, нежели южная поверхность океана во время нашей зимы; посему поясъ безвѣтрія, раздѣляющій оба пассатные вѣтры, такъ много подвигается лѣтомъ къ сѣверу, что далеко переходитъ сѣверную зимнюю границу свою и оставляетъ за собою къ югу полуострова Восточной Индіи; такимъ образомъ эти страны лежатъ въ лѣтнюю половину года т. е. съ Апрѣля до Октября въ юго-восточномъ пассатѣ. Но переходя за экваторъ этотъ вѣтръ идетъ изъ страны, гдѣ частицы воздуха имѣютъ большую скорость движенія къ Востоку, въ такую страну, гдѣ эта скорость меньше; слѣд. изъ юго-восточнаго онъ перемѣнится въ юго-западный (такъ какъ верхнее теченіе сѣвернаго полушарія); по этому въ странахъ береговъ Малабарскаго и Карамандельскаго постоянно дуютъ отъ Апрѣля до Октября юго-западные вѣтры, съ Октября до Апрѣля сѣверо-восточные. Если такимъ образомъ направленія постоянныхъ вѣтровъ одинъ разъ въ годъ измѣняются въ противоположныя, то вѣтры называются *Муссонами*. Слѣд. они происходятъ также, какъ пассатные, только съ тѣмъ различіемъ, что Муссоны засисятъ отъ большой удободвижимости пояса безвѣтрія, происходящей отъ расположенія твердой земли въ отношеніи къ морю.

Мы находимся подъ среднею широтою на той границѣ, гдѣ начинается сѣверовосточный пассатный вѣтръ, и гдѣ онъ стѣсняется верхнимъ понижающимся юго-западнымъ; если этотъ послѣдній сильнѣе, то стѣсненіе начинается прежде т. е. къ югу отъ насъ; если же онъ слабъ, то позднѣе т. е. сѣвернѣе; отъ этого мы находимся то въ нижнемъ теченіи, то въ верхнемъ понижающемся, слѣд. у

насъ дуетъ то сѣверо-восточный то юго-западный вѣтръ. Въ самомъ дѣлѣ если сощитаемъ дни, въ которые дуютъ различные вѣтры, то найдемъ, что оба эти вѣтра имѣютъ значительный перевѣсъ передъ всѣми другими, особенно юго-западный; этимъ доказывается, что мы чаще находимся къ сѣверу отъ той точки, гдѣ понижающееся верхнее теченіе доходитъ до поверхности земли. Остальные вѣтры напр. западный, сѣверозападный, и пр. суть у насъ только переходные вѣтры одного главнаго направленія въ другое. И такъ у насъ то явленіе, которое въ Восточной Индіи въ видѣ Муссоновъ наблюдается только одинъ разъ въ годъ, повторяется весьма часто, и такъ какъ тамъ сѣворовосточной Муссонъ переходитъ въ югозападный въ Апрѣлѣ, поворачиваясь чрезъ Востокъ и югъ, а югозападный въ Октябрѣ въ сѣверовосточный черезъ Западъ и Сѣверъ, такъ и у насъ замѣтили, что измѣненіе вѣтровъ проиходитъ по большей части по этому же направленію.

Такимъ образомъ изъясняются явленія вѣтровъ, какъ они представляются наблюденію, изъ большаго нагрѣванія земли подъ тропиками, изъ обращенія земли около оси и изъ расположенія твердой земли въ отношеніи къ океану.

§ 221.

Изъ положенія земли относительно къ солнцу выводится, какъ мы уже видѣли, разность жаркаго, умѣренныхъ и холодныхъ поясовъ, смотря по полуденной высотѣ, которой достигаетъ солнце надъ горизонтомъ. Но эти высоты весьма различны въ различныя времена года, слѣд. и нагрѣваніе. Между тропиками разность временъ года совершенно незамѣтна, потому что тамъ солнце мало отдаляется отъ зенита, и долгота дня въ продолженіи

всего года почти равна 12 часамъ; напротивъ подъ средними широтами разность эта весьма велика, потому что лѣтомъ при высшемъ стояніи солнца надъ горизонтомъ бываютъ и должайшіе дни, а зимою при нижнемъ кратчайшіе. Отъ этого происходитъ, что у насъ лѣтомъ теплота немного только отступаетъ отъ безпрестанной теплоты между тропиками; напротивъ зимою разность нашихъ температуръ отъ тропическихъ бываетъ тѣмъ больше. Подъ полярными широтами разность опять будетъ меньше; впрочемъ всегда довольно значительна; здѣсь одну половину года солнце бываетъ безпрерывно подъ горизонтомъ, а другую безпрерывно надъ горизонтомъ, но всегда оно стоитъ такъ низко, что оно мало грѣетъ, несмотря на безпрерывное присутствіе его.

Если хотимъ сравнить количество теплоты существующей на какомъ нибудь мѣстѣ въ продолженіи всего года, то очевидно одного только наблюденія термометра одинъ разъ въ годъ для этого недостаточно, потому что лѣтомъ мы нашли бы у насъ температуру почти туже самую, какъ и подъ тропиками, напротивъ зимою разность былабъ чрезвычайно велика; изъ этого слѣдуетъ что мы должны взять среднюю теплоту обоихъ мѣстъ, которую мы найдемъ, принимая въ разсужденіе теплоту всѣхъ дней. Но даже и въ продолженіи одного дня теплота бываетъ весьма различна; утромъ передъ восхожденіемъ солнца она есть наименьшая, въ 2 часа пополудни наибольшая, если этой правильности не препятствуютъ облака, дождь, измѣненіе направленія вѣтровъ и проч. По этому родится вопросъ, какъ должно находить среднюю температуру дня? Очевидно, что для этого должно бы было наблюдать температуру всякой часъ, сложить полученныя 24 температуры и сумму раздѣлить на 24; полученное количество даетъ среднюю температуру, т. е. ту, которая еслибы продолжалась цѣлый день, далабъ туже сумму въ теченіи дня, какая получается отъ всѣхъ вмѣстѣ температуръ, существующахъ на самомъ дѣлѣ. Въ весьма не многихъ мѣстахъ сдѣланъ такой рядъ наблюденій въ каждый часъ дня, въ продолженіи нѣсколькихъ лѣтъ, при содѣйствіи многихъ наблюдателей, ибо легко видно, какъ трудно и даже невозможно эту задачу рѣшить для одного только наблюдателя. Но при этихъ рядахъ наблюденій нашли, что туже среднюю температуру можно также получить, избирая нѣкоторые опредѣленные часы дня для этихъ наблюденій и взявъ среднее изъ нихъ, напр. 4 и 10 часовъ днемъ и ночью; но легче всего и при всемъ томъ согласно съ среднею температурою, получаемою изъ 24 наблюденій, можно найти среднюю температуру дня, если въ продолженіи его брать среднюю изъ самой *высшей* и самой *низшей* температуры. Чтобъ можно было еще удобнѣе дѣлать это наблюденіе употребляютъ такъ называемый термометръ *a maximum* и *a minimum*, изъ которыхъ самый извѣстный и простой изобрѣтенъ Рутефордомъ. Для наблюденія наибольшей температуры служитъ ртутный термометръ съ трубкою, которая немного шире нежели въ обыкновенномъ термометрѣ, и въ которой въ пустомъ пространствѣ находится стальной или стеклянный цилиндръ DB (фиг. 272) немного тоньше трубки, и по этому могущій въ ней передвигаться взадъ и впередъ. Сперва ставятъ термометръ прямо, такъ чтобъ DB вмѣстѣ съ ртутью опустился внизъ, и потомъ кладутъ его горизонтально. Если температура увеличивается, то расширяющаяся ртуть, получившая отъ волосности выпуклую поверхность и поддерживая ее съ нѣкоторою силою, подвигаетъ впередъ стальной цилиндръ до тѣхъ поръ

пока она не достигнетъ наибольшей температуры въ продолженіи дня; послѣ этого она опять отходитъ назадъ и оставляетъ цилиндръ DB на томъ мѣстѣ, гдѣ онъ находился при наибольшей температурѣ; такъ что конецъ его В, даже и послѣ, показываетъ эту наибольшую температуру дня. Для наименьшей температуры употребляютъ спиртовой термометръ (фиг. 273); внутри спирта находится стеклянный цилиндръ DB, который доводятъ до самаго конца спирта и послѣ кладутъ термометръ горизонтально. Если температура понижается, то спиртъ сжимается. Отъ волосности на поверхности спирта происходитъ вогнутость, какъ показываетъ фигура, которую удерживаетъ жидкость съ нѣкоторою силою, и этимъ не даетъ цилиндру DB выйти изъ спирта, но увлекаетъ его вмѣстѣ до тѣхъ поръ, пока термометръ въ продолженіи дня не достигнетъ наименьшей температуры. Съ этого времени спиртъ начинаетъ опять расширяться, но DB остается въ немъ на своемъ мѣстѣ и концомъ D показываетъ какая была наименьшая температура въ продолженіи дня. Посредствомъ этихъ двухъ приборовъ нужно одинъ только разъ въ день, напр. въ 10 часовъ утра, смотрѣть на термометры и тогда узнаемъ изъ положенія цилиндровъ наибольшую температуру предшествующаго дня и наименьшую настоящаго; послѣ опять въ каждомъ термометрѣ цилиндръ DB нужно опускать до поверхности ртути и спирта, поставляя ихъ вертикально, и и такимъ образомъ приготовить термометры для слѣдующаго дня.

Такимъ образомъ можно съ достаточною точностію найти среднюю температуру дня; если сложимъ среднія температуры всѣхъ дней въ мѣсяцѣ и раздѣлимъ сумму на число дней, то получимъ среднюю температуру каждаго

мѣсяца. Если опять сложимъ эти температуры и сумму раздѣлимъ на 12, то получимъ среднюю температуру года. Для того чтобъ результаты, получаемые въ различныхъ мѣстахъ, можно было сравнивать между собою, согласились и у насъ всегда считать дни по новому стилю, употребляемому во всѣхъ иностранныхъ государствахъ, ибо въ противномъ случаѣ напр. среднюю температуру нашего Генваря нельзя бы было сравнить съ среднею температурою тогоже мѣсяца напр. въ Парижѣ, а это сравненіе и есть цѣль опредѣленія среднихъ температуръ.—Нашли, что среднія температуры различныхъ годовъ для одного и того же мѣста весьма мало разнятся (на 1 или 2 градуса) какъ бы велика ни была разность температуръ отдѣльныхъ дней, потому что большія температуры одного дня при сложеніи съ меньшими другаго уравниваются. Если среднія температуры многихъ годовъ въ одномъ и томъ же мѣстѣ сложимъ и раздѣлимъ ихъ на число годовъ, то получимъ *среднюю температуру* мѣста.

§ 222.

Такъ какъ солнце есть единственная причина измѣненія температуры на земной поверхности, то можнобъ было думать, что въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ измѣненія положенія солнца одинаковы, слѣд. подъ одними и тѣми же параллельными кругами, и среднія температуры должны быть однѣ и тѣже; но это не имѣетъ мѣста въ природѣ какъ мы тотчасъ увидимъ, если сравнимъ среднія температуры слѣдующихъ мѣстъ, какъ онѣ опредѣлены изъ наблюденій:

				средния температуры		
				года	лѣта	зимы
Въ Сѣверной Америкѣ подъ широтою	57°	Наинъ		— 2,9	+ 6,0	— 14,8
Въ Норвегіи . .	60°	Бергенъ		+ 6,5	+ 11,8	+ 1,8
Въ Швеціи . . .	59°	Стокгольмъ		+ 4,5	+ 13,0	— 2,9
Въ Россіи . . .	60°	С. Петерб.		+ 3,0	+ 12,9	— 5,9
	56°	Казань		+ 1,5	+ 13,9	— 11,5
	53	Барнаулъ		+ 1,4	+ 13,2	— 11,3

Всѣ эти мѣста лежатъ между 50° и 60° сѣверной широты; но хотя Наинъ въ Сѣверной Америкѣ лежитъ 3 градусами южнѣе Бергена въ Норвегіи, однако тамъ средняя температура 9,4 градусами ниже чѣмъ въ Бергенѣ. Въ Стокгольмѣ она ниже двумя градусами, въ Петербургѣ 3,5, въ Казани 5, въ Барнаулѣ 5, хотя Барнаулъ 7° южнѣе Бергена.

Изъ этого видно, что температура Норвегіи сравнительно гораздо выше, нежели во внутренности Азіи, а самая меньшая температура бываетъ въ сѣверной Америкѣ. Дабы легче можно было представить себѣ распредѣленіе температуръ разныхъ мѣстъ на земной поверхности, соединяютъ всѣ мѣста, гдѣ средняя температура одинакова, линіями, которыхъ кривизна показываетъ это распредѣленіе. Эти линіи извѣстны подъ именемъ *изотермическихъ*. Еслибъ напр. хотѣли получить изотермическую линію 6°,3, то она должна пройти чрезъ Бергенъ въ Норвегіи, отсюда она понижается по обѣ стороны, потому что какъ въ Азіи, такъ и въ Америкѣ должно приблизиться къ экватору гораздо больше чтобы получить туже самую температуру. Наблюденія показали, что та самая линія, которая въ Норвегіи проходитъ чрезъ 60° широты, въ Сѣверной Америкѣ проходитъ чрезъ 42°, во внутренности Азіи чрезъ 45°. Если N представляетъ сѣверной полюсъ земли (фиг. 274), ACBF земный экваторъ, AN меридіанъ проходящій чрезъ средину Америки, NB меридіанъ чрезъ средину Азіи, NC чрезъ западный берегъ Норвегіи, и NF меридіанъ въ Тихомъ океанѣ, то изотермическая линія 5° будетъ имѣть видъ *abcf*. Ея большее сѣверное уклоненіе находится въ Норвегіи и въ Тихомъ океанѣ, наибольшее южное уклоненіе въ сѣверной Америкѣ и во внутренности Азіи. Фигура этой линіи состоитъ какъ бы изъ двухъ круговъ, переходящихъ одинъ въ другой, которыхъ центры представляютъ P и p. Еслибъ проведена была изотермическая линія чрезъ — 10°, то она состоялаб въ самомъ дѣлѣ изъ 2 нѣсколько растянутыхъ въ длину круговъ, какъ показываетъ фигура, изъ котораго обстоятельства слѣдуетъ, что наибольшій холодъ имѣетъ мѣсто не на полюсахъ земли, но на двухъ точкахъ въ P и p. Это въ самомъ дѣлѣ такъ и бываетъ, и на сѣверномъ полушаріи мы имѣемъ 2 *полюса наибольшаго холода*, изъ которыхъ одинъ самый сильный находится во внутренности Америки къ западу отъ Баффинова залива, другой слабѣйшій лежитъ къ сѣверу отъ сѣверо-восточныхъ береговъ Азіи въ Ледовитомъ морѣ. Среднюю температуру этихъ полюсовъ можно предположить около — 20°, между тѣмъ, какъ средняя температура подъ экваторомъ = + 22°.

Теперь спрашивается, какая же причина этого неправильнаго раздѣленія теплоты, когда положеніе земли относительно солнца должно бы было произвесть совсѣмъ другое раздѣленіе? Мы находимъ изъясненіе этого явленія въ свойствѣ земной поверхности, смотря по тому твердая ли она или покрыта водою. Вода океановъ нагрѣвается съ меньшею скоростію и съ меньшею силою, нежели твердая земля, потому что вода много отражаетъ отъ се-

бя теплоты; по этому лѣтняя теплота меньше на морѣ и на берегахъ морскихъ, нежели во внутренности материковъ. Напротивъ охлажденіе поверхности воды зимою гораздо меньше охлажденія твердой земли, потому что какъ скоро частицы воды на поверхности охлаждаются чрезъ прикосновеніе съ воздухомъ, то по причинѣ большаго своего удѣльнаго вѣса онѣ опускаются внизъ, а еще неохладившіяся поднимаются вверхъ; кромѣ того вода гораздо меньше теряетъ чрезъ лучеиспусканіе, нежели твердая земля, по причинѣ менѣе шероховатой своей поверхности. И такъ на морѣ разность между температурами лѣта и зимы гораздо будетъ меньше, нежели во внутренности материковъ, по вмѣстѣ и средняя температура будетъ больше по причинѣ бо̀льшей разности между зимними температурами, въ сравненіи съ разностію между лѣтними. Въ метеорологіи согласились *для зимней температуры* брать среднюю температуру мѣсяцовъ: Декабря, Генваря и Февраля, а *для температуры лѣта* температуру мѣсяцевъ Іюня, Іюля и Августа (всегда по новому стилю); такъ нужно понимать означенныя въ нашей табличкѣ температуры лѣта и зимы, и мы тотчасъ видимъ большую разность между такъ называемымъ *морскимъ* или *береговымъ климатомъ* и *климатомъ материковъ*. Если напр сравнимъ Барнаулъ и Бергенъ, то найдемъ, что температура лѣта въ первомъ мѣстѣ 1°,4 больше нежели на Норвежскихъ берегахъ; напротивъ температура зимы 13°,1 ниже, такъ что меньшую среднюю температуру Барнаула очевидно должно приписать нисшей температурѣ зимы. Разность между температурою лѣта и зимы въ Бергенѣ 10°, въ Барнаулѣ 24,°5; первый имѣетъ береговой климатъ, а послѣдній климатъ материковъ. Такъ какъ Европа представляетъ такъ сказать западный берегъ Азіи, въ который

глубоко врѣзываются моря, напр. Балтійское море, Средиземное и Черное, по этому Европа, особливо западная, имѣетъ больше береговой климатъ, напротивъ внутренняя Азія и внутренняя Сѣверная Америка больше климатъ материковъ; къ этому присоединяется еще то, что въ Европѣ преимущественно дующіе юго-западные вѣтры изъ теплѣйшихъ странъ проходятъ чрезъ поверхность водъ Атлантическаго океана, слѣд. приносятъ теплѣйшій воздухъ, между тѣмъ какъ въ Азіи и въ Америкѣ высокіе хребты горъ останавливаютъ юго-западное теченіе воздуха Таковы причины, производящія весьма выгодное для Европы раздѣленіе теплоты въ сѣверномъ полушаріи; для узнанія расположенія теплоты въ южномъ полушаріи мы еще не имѣемъ довольно наблюденій.

§ 223.

Кромѣ этихъ общихъ причинъ различнаго распредѣленія теплоты есть еще одна, которая хотя больше относится къ мѣстности, однако имѣетъ большое вліяніе; это есть возвышеніе мѣста надъ поверхностію океана. Когда на воздушномъ шарѣ поднимаются въ атмосферу, или когда восходятъ на высокую гору, то находятъ, что температура становится меньше и меньше. Хотя многоразличныя наблюденія такого рода показали, что съ увеличиваніемъ высоты, величина пониженія температуры не всегда и не везде одна и таже, однако для средняго уменьшенія, отъ котораго другія незначительно различаются, можно принимать, что при повышеніи на 700 футовъ термометръ Реомюра показываетъ температуру 1° градусомъ ниже, нежели внизу въ тоже самое время.

И такъ на высокихъ горахъ температура снизу вверхъ

уменьшается, точно такъ какъ и съ увеличеніемъ широты; отъ этого происходитъ, что при восхожденіи на горы мы проходимъ также, только съ большею быстротою, всѣ климаты, какъ когда мы идемъ отъ подошвы горъ дальше къ Сѣверу, и если высокая гора находится въ жаркомъ климатѣ, то при восхожденіи на нее мы пройдемъ всѣ поясы земные. Такимъ образомъ Гумбольдтъ во время своихъ путешествій на горы подъ тропиками до высоты 500 тоазовъ нашелъ страну пальмовыхъ и пизанговыхъ растѣній, за тѣмъ до высоты 1330 слѣдуетъ страна древообразныхъ папоротниковъ, отсюда до 1540 тоазовъ слѣдуютъ дубы и другія растущія въ нашемъ климатѣ высокоствольныя деревья, но уже при 1400 тоазахъ тѣже деревья растутъ ниже, а при 1540 тоазахъ совершенно прекращается прозябеніе ихъ, и за этимъ слѣдуютъ кустарники, простирающіеся до 1700 тоазовъ; отъ 1700 до 2100 слѣдуютъ такъ называемыя альпійскія растенія. Между 2100 и 2358 тоазами растутъ только травы и еще выше слѣдуютъ тайнобрачныя растѣнія, лишаи и проч.; наконецъ отъ 2464 и выше царствуетъ вѣчная зима и вѣчные снѣга, какъ подъ полюсами земли.

Высота, гдѣ на горахъ начинается снѣгъ, не тающій даже во время теплыхъ лѣтнихъ мѣсяцевъ, или *снѣжная линія*, спускается тѣмъ ниже къ землѣ, чѣмъ больше будемъ отдаляться отъ Экватора; между тропиками она находится на высотѣ 15800 русскихъ футовъ, подъ широтою 30° на 13700, подъ 45° на 8640 подъ 70° на 2700 и далѣе къ полюсу она достигаетъ наконецъ поверхности земли. Приведенныя нами числа суть среднія ариѳметическія изъ различныхъ наблюденій, сдѣланныхъ подъ одною и тою же широтою; но впрочемъ въ этихъ высотахъ находятся

значитетныя неправильности, которыя частію зависятъ отъ того, что изотермическія линіи не параллельны параллельнымъ кругамъ, частію отъ положенія покатости горы, такъ что на южной покатости снѣжная линія лежитъ выше нежели на сѣверной, частію отъ наклоненія покатости, а также и отъ того, уединена ли гора или находится посреди большаго хребта; въ первомъ случаѣ снѣжная линія лежитъ выше, нежели въ послѣднемъ, потому что здѣсь большая масса высоко поднимающихся горъ охлаждаетъ окружающій воздухъ гораздо больше, такъ что въ продолженіи лѣта таетъ снѣгу меньше, нежели когда гора стоитъ уединенно.

Спрашивается теперь, отъ чего температура уменьшается съ высотою? Мы знаемъ, что солнечные лучи больше всего грѣютъ тогда, когда они на пути своемъ удерживаются, слѣд. тѣмъ меньше, чѣмъ прозрачнѣе тѣло, на которое они падаютъ; по этому воздухъ, при проходѣ чрезъ него солнечныхъ лучей, мало только нагрѣвается, напротивъ поверхность земли весьма сильно. Температура небеснаго пространства, въ которомъ движется земля съ своею атмосферою, безъ сомнѣнія весьма низка, вѣроятно ниже −40°R, потому что безъ этого температура полюсовъ холода на поверхности земли была бы выше найденной. И такъ атмосфера представляетъ, такъ сказать, газообразное море, которое снизу находится въ прикосновеніи съ теплымъ дномъ, а вверху съ холоднымъ пространствомъ, и мы видимъ здѣсь тоже обстоятельство, которое имѣетъ мѣсто, когда въ сосудѣ кипятимъ воду, подогрѣвая дно его; по этому можно было бы думать, что и здѣсь такимъ же образомъ, когда нагрѣтыя частицы воздуха поднимаются а холодныя опускаются, то вся

воздушная масса должна мало по малу достигнуть равномѣрной температуры. Но различие состоитъ въ томъ, что здѣсь нагрѣваеся *газъ*, а въ сосудѣ *капельная жидкость.* Между тѣмъ какъ нагрѣтыя частицы газа поднимаются въ атмосферу, онѣ расширяются, потому что приходятъ на высоты, гдѣ давленіе становится меньше. Но извѣстно, что при расширеніи теплоемкость газовъ дѣлается больше, т. е. они требуютъ большаго количества теплоты для того, чтобы показывать туже температуру какъ прежде; поэтому температура ихъ при расширеніи понижается и такимъ образомъ поднимающіяся частицы воздуха скоро теряютъ свою высокую температуру, которою онѣ обязаны солнечной теплотѣ. Напротивъ понижающіяся холодныя частицы воздуха сжимаясь пріобрѣтаютъ меньшую теплоемкость и слѣд. отъ этого температура ихъ повысится. Такимъ образомъ внизу температура всегда останется выше, нежели въ верху въ атмосферѣ.

§ 224.

Вопросъ, какимъ образомъ измѣняется температура во внутренности земли, можно рѣшить помощію термометра съ длинною трубкою, которую наполняютъ спиртомъ, для того чтобъ отъ большаго количества ртути приборъ не сдѣлался слишкомъ тяжелымъ; шарикъ этого термометра впускаютъ въ землю на различныя глубины и каждый день наблюдаютъ температуру его. Это сдѣлано въ нѣкоторыхъ мѣстахъ и найдено, что въ нашихъ странахъ термометръ, котораго шарикъ углубляется подъ землею ниже 3 футовъ, въ продолженіи сутокъ постоянно показываетъ одну и туже температуру, но что эта температура измѣняется отъ одного дня до другаго; и такъ время года

здѣсь еще имѣетъ вліяніе, но оно становится тѣмъ меньше, чѣмъ больше увеличивается глубина шарика; наконецъ когда эта глубина будетъ превышать 50 футовъ, то температура, даже въ теченіи цѣлаго года, не измѣняется болѣе. И такъ на этой, или на большей глубинѣ, слой земли болѣе неподверженъ вліянію временъ года; слой, гдѣ это вліяніе начинаетъ быть не замѣтнымъ, называется *слоемъ постоянной температуры.* Сія температура почти сходна съ среднею температурою мѣста наблюденія. Если углубимся ниже этого слоя во внутренность земли, напр. въ рудникахъ, то увидимъ, что термометръ также остается постояннымъ въ теченіи года, но эта постоянная высота будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше будемъ углубляться, и приблизительно можно принять, что для каждыхъ 100 футовъ термометръ повышается на 1°R; впрочемъ на разныхъ мѣстахъ это правило значительно измѣняется. Если позволено разсуждать дальше такимъ же образомъ, то мы должны заключить, что внутренность земли должна находиться въ расплавленномъ состояніи; ибо температура, при которой плавится напр. желѣзо, по новѣйшимъ опытамъ не выше 1300°R; слѣд. если температура постоянно увеличивается въ такомъ же отношеніи, то мы должны уже на глубинѣ 130000 футовъ или около 37 верстъ найти температуру плавленія желѣза; теперь такъ какъ діаметръ земли равенъ почти 12000 верстъ, то слѣдовало бы изъ этого, что огромное расплавленное ядро земли окружено только не значительною, въ отношеніи къ нему, тонкою корою. Хотя и не доказано чтобы температура увеличивалась въ постоянномъ отношеніи, но такъ какъ и другія геогностическія наблюденія говорятъ въ пользу мнѣнія о раскаленномъ жидкомъ ядрѣ земномъ, то изложенное мнѣ-

ніе теперь вообще принято. Лава вулкановъ есть ничто иное какъ изверженіе этой раскаленной жидкой массы земли на поверхность ея. Принимая это, далѣе заключаютъ, что при сотвореніи земли весь шаръ земной былъ въ раскаленномъ жидкомъ состояніи и окруженъ не океаномъ, но огромною атмосферою, въ которой всѣ водяныя частицы теперешнихъ океановъ отъ большаго жара были растворены въ видѣ паровъ. Отъ этого земля видимая съ другихъ небесныхъ тѣлъ должна была казаться подобною кометамъ, которыя также представляются намъ состоящими изъ плотнѣйшаго ядра и газообразной оболочки. Отъ вращенія около оси своей эта жидкая масса приняла видъ шара сжатаго къ полюсамъ, который видъ она и теперь имѣетъ. Отъ движенія въ холодномъ пространствѣ земля охлаждалась мало по малу и очевидно тогда прежде всего затвердѣла поверхность; между тѣмъ какъ земля мало по малу теряла свою первоначальную теплоту, водяныя частицы осаждались наконецъ на поверхность ея и образовали море. Но внутренняя жидкая масса давимая сжатіемъ отъ охлажденія земной коры, часто выходила черезъ трещины на поверхность, или если она не находила трещинъ, то поднимала кору въ видѣ свода, пока не разорвала ее и поднялась черезъ разрывы; отъ этого произошли на землѣ неровности, горы и долины. При такомъ насильственномъ поднятіи твердой коры земли море должно было быть отброшено съ ужасною силою и наводнить прежнія сухія мѣста, при этомъ множество органическихъ твореній погибло, и покрыто было твердыми частями осаждавшимися изъ воды при спокойномъ состояніи ея; въ самомъ дѣлѣ еще и теперь мы находимъ въ нѣдрѣ земли остатки ихъ, которые, какъ напр. каменный уголь, окаменелости, цѣлые скелеты и проч. своимъ необыкновеннымъ и теперь нигдѣ не находимымъ видомъ приводятъ насъ въ удивленіе.

Видимое исключеніе изъ закона увеличенія температуры вмѣстѣ съ глубиною представляетъ море. Въ немъ нашли, что температура съ глубиною уменьшается. Между тропиками посредствомъ особеннаго прибора, открывающагося при погруженіи въ воду и при поднятіи запирающагося дѣйствіемъ особеннаго устройства, изъ глубины доставали воду, которая едва показывала 2°, тогда какъ температура на поверхности была 20° и еще больше. Но причина этого заключается въ удободвижимости водяныхъ частицъ, отъ чего холодныя частицы постоянно должны течь по дну морскому отъ полюса къ Экватору, между тѣмъ какъ теплыя стекаютъ отъ Экватора къ полюсу. Еслибы начиная отъ дна морскаго можно было спуститься въ глубину земли, то безъ сомнѣнія нашли бы приращенія температуры, какъ вездѣ во внутренности земли.

§ 225.

Мы видѣли, что вода испаряется при всякой температурѣ и что по этому атмосфера всегда наполнена водяными парами. Если количество ихъ такъ велико, что они приближаются къ состоянію насыщенія, то малѣйшее охлажденіе воздуха достаточно для того, чтобы произвести осажденіе паровъ. Когда это бываетъ, то воздухъ наполняется водяными шариками, чрезъ это теряетъ свою прозрачность и является въ видѣ *тумана* или *облака*. Находясь на какой нибудь высокой горѣ внутри облака, мы замѣтимъ совершенно тоже самое явленіе, какъ когда мы находимся на поверхности земли, окруженные туманомъ.

По этому *туманъ* есть *облако* висящее надъ самою поверхностію земли, или *облако* есть *туманъ* плавающій въ воздухѣ на большой высотѣ. Какъ ни многоразличенъ бываетъ видъ облаковъ, однако различаютъ нѣкоторые главные виды ихъ, которые означаются именами: Cirrhus, cumulus, Stratus. Cirrhus (перистыя облака) суть бѣлыя легкія жилки, которыми подернуто бываетъ небо, когда послѣ ясныхъ дней оно начинаетъ помрачаться. Они образуютъ продолговатыя полоски и весьма способствуютъ образованію тѣхъ круговъ около солнца и луны, которыхъ происхожденіе въ ледяныхъ кристаллахъ мы уже разсматривали. По этому вѣроятно, что перистыя облака состоятъ не изъ водяныхъ пузырьковъ, какъ туманъ и прочія облака, но изъ весьма тонкихъ ледяныхъ иголокъ; это подтверждается нѣкоторымъ образомъ и большею высотою ихъ предъ прочими облаками (около 20000 фут.) и бѣлымъ видомъ ихъ. — Cumulus (кучевыя облака) исключительно замѣчаются весною и лѣтомъ; это суть отдѣльныя полушарообразныя густыя бѣлыя облака, которыя такъ часто въ ясные лѣтніе дни являются утромъ и въ 2 или въ 3 часа пополудни бываютъ самыя густыя, а вечеромъ опять пропадаютъ и оставляютъ небо яснымъ. — Stratus (слоистыя облака) называются облака иногда замѣчаемыя въ видѣ туманной стѣны; это есть однородная сѣрая облачная масса, ограниченная вверху чистымъ небомъ почти въ горизонтальной линіи. — Кромѣ этихъ трехъ главныхъ видовъ различаютъ еще роды облаковъ, составленные изъ описанныхъ; между ними важнѣйшія: Cirrho-cumulus (перисто-кучевыя) въ общежитіи извѣстны подъ именемъ *барашковъ* и Cumulo-stratus (слоисто-кучевыя), если кучевыя накопляются такъ густо, что между ними нигдѣ нельзя видѣть голубаго неба; сюда принадлежатъ тучи во время грозы.

Есть двѣ главныя причины, отъ которыхъ осаждающіеся пары образуются въ облака именно 1) охлажденіе теплаго, влажнаго воздуха безпрестанно поднимающагося отъ земли въ ясные дни и 2), смѣшеніе двухъ родовъ воздуха различныхъ температуръ.

1). Мы уже видѣли, что отъ сильнаго нагрѣванія земной поверхности лѣтомъ должно происходить безпрестанное возхожденіе нижняго теплаго воздуха и пониженіе верхняго холоднаго; при этомъ противоположномъ движеніи воздухъ раздѣляется на столбы, такъ что подлѣ восходящаго теплаго столба, находится холодный нисходящій. Восходящіе столбы смѣшены съ большимъ количествомъ паровъ и когда они охлаждаются частію отъ собственнаго расширенія, частію отъ прикосновенія съ холоднѣйшими частицами, то частицы паровъ сгущаются и образуютъ *облака*, и слѣд. должны казаться въ видѣ отдѣльныхъ массъ на чистомъ небѣ и въ этомъ-то причина кучевыхъ облаковъ, которыя слѣд. только тогда происходятъ, когда есть восходящее теченіе; поэтому они замѣчаются только лѣтомъ, а подъ большими широтами, покрытыми всегда снѣгомъ, совершенно не наблюдались. Другое явленіе отъ тойже причины суть слоеобразныя туманы, которые мы лѣтомъ ввечеру замѣчаемъ на влажныхъ лугахъ. Изъ нихъ отъ дѣйствія дневной теплоты поднимается большое количество паровъ, такъ что находящійся надъ ними воздухъ почти насыщенъ парами; если вечеромъ температура его понижается и самая почва теряетъ свою теплоту отъ лученспускания (§ 217), то часть паровъ осаждается и въ слѣдствіе этого происходитъ туманъ.

2). Что бы видѣть вліяніе второй причины, т. е. смѣшенія двухъ родовъ воздуха различныхъ температуръ, на осажденіе паровъ, мы возьмемъ примѣръ. Предположимъ,

что часть воздуха при температурѣ 20° смѣшивается съ такимъ же количествомъ другаго при температурѣ 10° и что оба количества воздуха такъ обильно наполнены водяными парами, что почти насыщены ими. Тогда по таблицѣ (стр. 456) упругость паровъ въ первомъ воздухѣ будетъ =0,96, а второмъ =0,45; слѣд. послѣ смѣшенія средняя упругость =0,70, а температура смѣси =15°. Но при 15° по тойже таблицѣ, даже при возможно наибольшемъ насыщеніи, могутъ существовать только тѣ пары, которыхъ упругость есть 0,67, слѣд. послѣ смѣшенія часть паровъ должна перейти въ жидкое состояніе. И такъ видно, что при смѣшеніи пары осаждаются потому, что упругость ихъ возрастаетъ въ гораздо скорѣйшемъ отношеніи, нежели температура, такъ что средняя изъ обѣихъ упругостей бываетъ больше той, которая соотвѣтствуетъ средней температурѣ. Но мы уже видѣли, что въ верхнихъ частяхъ атмосферы происходитъ безпрестанное теченіе воздуха отъ экватора къ полюсамъ, а въ нижнихъ отъ полюса къ экватору; на предѣлахъ этихъ теченій смѣшиваются оба воздушные тока холодный съ сѣвера, а теплый съ юга; слѣд. если прежде смѣшенія они оба сильно наполнены были влажностію, то на границахъ смѣшенія пары должны сгущаться, и прежде являться въ видѣ перистыхъ облаковъ, при чемъ тонкія жилки ихъ показываютъ направленіе обоихъ воздушныхъ теченій. При усиленіи осажденія паровъ, и когда къ этому присоединяется еще первая причина — теченіе теплаго воздуха вверхъ — происходятъ облака household-кучевыя и другіе роды ихъ.

§ 226.

Хотя каждый шарикъ сгущенныхъ въ облако паровъ

тяжелѣе воздуха, однако при своемъ паденіи онъ встрѣчаетъ большое сопротивленіе воздуха, и по этому онъ будетъ плавать въ немъ, какъ скоро еще какая нибудь другая сила будетъ противодѣйствовать паденію. Эта сила находится частію въ восходящихъ теченіяхъ воздуха, частію въ нагрѣваніи облаковъ солнечными лучами съ верхней стороны; ибо когда солнечные лучи встрѣчаютъ въ облакахъ предметъ болѣе непрозрачный нежели воздухъ, то они нагрѣваютъ его болѣе, такъ что вся масса воздуха въ облакахъ будетъ легче окружающаго воздуха, слѣд. она будетъ подниматься и увлечетъ съ собою водяныя частицы. Очевидно, что это имѣетъ мѣсто и во время пасмурнаго неба, потому что верхнія части облаковъ всегда освѣщаются солнцемъ; обѣ эти причины ночью не существуютъ и по этому облака ночью понижаются и бываютъ ближе къ землѣ.

Когда сгущеніе будетъ сильнѣе, то водяныя частицы увеличиваются, и поэтому скорѣе понижаются. Такъ какъ при пониженіи они бываютъ холоднѣе воздуха, въ которомъ движутся, то на нихъ будутъ осаждаться пары изъ воздуха, (какъ мы видѣли, что холодный предметъ осаждаетъ пары изъ теплаго воздуха), отъ этаго капли при паденіи увеличиваются, падаютъ съ большею скоростію и достигаютъ до земли въ видѣ *дождя*. Изъ сего объясненія слѣдуетъ, что на высокихъ мѣстахъ должно выпадать дождя меньше, нежели на низкихъ, и это въ самомъ дѣлѣ подтверждается опытами. Такъ напр. на плоской кровлѣ Обсерваторіи въ Парижѣ въ продолженіи года выпадаетъ дождя въ отношеніи какъ 6:7 меньше нежели на улицѣ, которая находится 90 фут. ниже. Въ Іоркѣ на Соборѣ, который 213 футами выше улицы, выпадаетъ дождя 1/5 меньше, нежели на улицѣ. Чтобы опредѣлить количество вы-

падающаго дождя употребляютъ такъ называемый *Омброметръ* (дождемѣръ). Открытый сосудъ AB (фиг. 275), котораго отверстіе заключаетъ ровно 1 квадратный футъ, внизу оканчивается воронкообразно въ стеклянную трубку CD, которая можетъ закрываться краномъ D, и начиная отъ него вверхъ раздѣлена на кубическіе дюймы и части его. Приборъ ставится на открытомъ воздухѣ подъ дождемъ и послѣ дождя измѣряется количество воды въ трубкѣ, а потомъ черезъ кранъ выливается. Такимъ образомъ узнаютъ, сколько кубическихъ дюймовъ дождя выпадаетъ на одинъ кубическій футъ. Подобный же приборъ служитъ и для измѣренія выпавшаго количества снѣгу, только послѣ окончанія паденія его, нужно внести приборъ въ теплую комнату, чтобы растаялъ снѣгъ и вода вошла въ трубку. Количество дождя не выражается кубическими дюймами, но обыкновенно изъ нихъ вычисляется, какъ высоко стояла бы выпавшая дождевая вода въ сосудѣ AB, если бы до самаго низу онъ былъ цилиндрическій, и означаютъ эту высоту. Такъ напр. говорятъ, что выпавшее у насъ въ продолженіи года количество дождя и снѣгу (который предполагается растаявшимъ) равно 18 дюймамъ; по предъидущему это значитъ тоже что: если бы выпавшее у насъ количество дождя или снѣгу (въ растаявшемъ состояніи) оставалось всегда на землѣ, не всасываясь въ землю или не теряясь чрезъ испареніе, то въ продолженіи года оно составило бы слой воды глубиною въ 18 дюймовъ. Такимъ образомъ опредѣляли количество дождя подъ различными широтами и нашли, что отъ экватора къ полюсу оно уменьшается. Между тропиками толщина водянаго слоя отъ дождя равно 70″, на Малабарскихъ островахъ даже 120″, между тѣмъ какъ въ Римѣ 30″, въ Германіи 27″, въ Англіи 30″, въ Петербургѣ 18″. Но число дождливыхъ дней наоборотъ увеличивается отъ экватора къ полюсамъ. Количество дождя 70″ подъ тропиками накопляется въ теченіи 3 мѣсяцевъ, между тѣмъ какъ у насъ въ Петербургѣ 18″ дождя падаютъ, если сложить всѣ дождливые дни, въ теченіи 6 мѣсяцевъ. Изъ этого слѣдуетъ, что дождевыя капли между тропиками гораздо гуще и крупнѣе падаютъ нежели у насъ; причину этому очевидно нужно искать въ большемъ количествѣ водяныхъ паровъ, находящихся въ тепломъ тропическомъ воздухѣ и осаждающихся на падающихъ холодныхъ капляхъ. Вообще легко усмотрѣть, что гдѣ температура выше, слѣд. больше освобождается паровъ, тамъ больше количество выпадающаго дождя.

Снѣгъ есть тоже что дождь, только первыя упадающія шарики воды замерзшія, и на нихъ осаждаются пары нисшихъ воздушныхъ слоевъ и тотчасъ замерзаютъ въ тоненькія иглы, изъ которыхъ состоятъ снѣжинки.

Крупа есть также замерзшія дождевыя капли, но тогда, когда они уже достигли значительной величины.

Градъ есть явленіе, которому еще не найдено основательнаго объясненія, хотя много придумано гипотезъ для этого. Онъ образуется въ жаркое время года, преимущественно вмѣстѣ съ грозою и состоитъ изъ кругловатыхъ ледяныхъ кусковъ, которые иногда достигаютъ величины куринаго яйца и въ срединѣ имѣютъ снѣгообразное ядро; около него лежатъ концентрическіе ледяные слои, которые очевидно произошли отъ осажденія паровъ на внутреннее ядро. Передъ паденіемъ града слышенъ часто рѣзкій шумъ, который кажется происходитъ отъ ударенія градинъ одной о другую. Прежде градъ считали за явленіе, на образованіе котораго имѣетъ большое вліяніе

электричество, именно Вольта предложилъ эту гипотезу образованія его, которая нашла многихъ послѣдователей. Въ слѣдствіе этой теоріи думали устранить вредное для земледѣльцевъ паденіе града посредствомъ *градоотводовъ*, подобныхъ громовымъ отводамъ, которые поставляли на поляхъ въ большомъ количествѣ и которые должны были разряжать электричество облаковъ и черезъ это дѣлать невозможнымъ образованіе града. Теперь не считаютъ электричества за причину града, и въ самомъ дѣлѣ есть случаи, когда отъ града пострадали преимущественно мѣста снабженныя градоотводами; по этому градоотводы должны быть оставлены какъ безполезные и дорогіе.

Смерчи суть также не совершенно изъясненное явленіе, состоящее въ слѣдующемъ: облако спускается внизъ въ видѣ воронки; когда это бываетъ на морѣ, то подъ нимъ сильно волнуется вода, поднимается вверхъ также въ видѣ обратной воронки, пока вершины обѣихъ воронокъ, водяной и облачной, соединяются и составляютъ столбъ, котораго вершина находится въ облакахъ, а основаніе на поверхности моря. Въ столбѣ замѣчается спиралеобразное движеніе воды вверхъ и внизъ. Когда смерчь является надъ твердою землею, то вмѣсто воды облако пыли поднимается и все явленіе движется впередъ; если смерчи достигаютъ деревьевъ, то они часто вырываютъ ихъ изъ земли, поднимаютъ на воздухъ и бросаютъ далеко; они даже срываютъ кровли съ домовъ и вообще всѣ предметы, попадающіеся имъ, ужасною силою.

ОТДѢЛЕНІЕ ТРЕТІЕ.

О МАГНЕТИЗМѢ

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О ДѢЙСТВІИ И О ВОЗБУЖДЕНІИ МАГНЕТИЗМА ВЪ ЖЕЛѢЗѢ И ВЪ СТАЛИ.

§ 227.

Есть желѣзная руда, имѣющая замѣчательное свойство притягивать къ себѣ желѣзо. Такое свойство называютъ *магнетизмомъ*, а желѣзную руду *магнитнымъ камнемъ*. Эта руда есть окись желѣза т. е. желѣзо соединенное съ малѣйшимъ количествомъ кислорода. Но эту способность притягивать желѣзо можно и искуственно сообщить закаленной стали; мы увидимъ послѣ какимъ образомъ, а теперь достаточно для насъ знать, что въ самомъ дѣлѣ существуютъ такіе *стальные искуственные магниты*, какъ называютъ ихъ для отличія отъ *естественныхъ магнитовъ*, ко-

торые сами собою получили магнетизмъ въ нѣдрахъ земли. Такъ какъ искуственнымъ магнитамъ можно дать форму удобнѣйшую для опытовъ нежели естественнымъ, то мы при описаніи послѣдующихъ опытовъ всегда будемъ говорить объ искуственныхъ магнитахъ.

Достанемъ себѣ искуственный магнитъ, предположимъ цилиндрической, NS (фиг. 276) длиною въ 3 дюйма а толщиною въ $^1/_4$ дюйма, котораго концы округлены. Возмемъ кусокъ желѣза, напримѣръ маленькой ключикъ K, и держа магнитъ въ горизонтальномъ положеніи приблизимъ ключикъ къ концу N магнита; онъ тотчасъ будетъ притянутъ концемъ N и будетъ висѣть на немъ, такъ что слѣд. притягательная сила магнита преодолѣетъ тяжесть ключа. Если станемъ подвигать на магнитѣ ключь дальше къ срединѣ, то онъ все еще будетъ поддерживаться, но когда будемъ отрывать его, то увидимъ, что притягательная сила магнита болѣе и болѣе ослабѣваетъ. Когда передвигая ключь дойдемъ до B, то найдемъ, что магнитъ болѣе не въ состояніи держать ключа, однако замѣтимъ, что онъ все еще притягивается, только сила притяженія сдѣсь слабѣе вѣса ключа. Если послѣдній передвинемъ до самой средины въ A, то онъ здѣсь уже совершенно не притягивается; далѣе на другой сторонѣ отъ A притяженіе опять начнется, въ B′, на разстояніи отъ A равномъ разстоянію B отъ A, сила будетъ опять такъ велика, что она можетъ держать ключь и отсюда возрастаетъ болѣе и болѣе до другаго конца S. Слѣдовательно магнитная сила достигаетъ наибольшей степени на концахъ магнита, въ срединѣ же его она равна 0. Точки магнита N и S, притягивающія желѣзо сильнѣе прочихъ, называются *полюсами* его, а совершенно не дѣйствующая точка A *безразличною точкою.*

Существованіе полюсовъ и точки безразличія можно и доказать, если магнитъ погрузить въ желѣзные опилки; тогда вынимая его увидимъ, что опилки пристаютъ въ видѣ большой кисти на концахъ магнита, но слабѣе и слабѣе къ срединѣ, и наконецъ въ самой срединѣ A совсемъ ихъ незамѣтно. Но еще лучше для опредѣленія точекъ наибольшаго притяженія дѣлаютъ опытъ такъ: на столъ кладутъ магнитъ и покрываютъ его листомъ бумаги горизонтально лежащимъ, потомъ разсыпаютъ по бумагѣ немного желѣзныхъ опилковъ; если пальцемъ ударить слегка по бумагѣ, такъ чтобы частички желѣза подскочили вверхъ, то при паденіи онѣ расположатся мало по малу, какъ требуетъ притяженіе находящагося подъ бумагою магнита и составятъ такимъ образомъ фигуру, показанную въ чертежѣ (фиг. 277), гдѣ линія NS, означенная точками, показываетъ магнитъ лежащій подъ бумагою. Изъ этого видно что линіи, по которымъ располагаются опилки и которыя называются *магнитными кривыми линіями*, направлены къ двумъ точкамъ N и S, которыя и суть наиболѣе притягивающіе полюсы, слѣд. они лежатъ не на самыхъ концахъ магнита, но въ *нѣкоторомъ разстояніи отъ концевъ къ срединѣ.* Почему желѣзные опилки располагаются въ видѣ линіи, мы увидимъ послѣ. Послѣдній опытъ показываетъ, что магнитное притяженіе дѣйствуетъ даже сквозь другія тѣла, въ нашемъ случаѣ сквозь бумагу, и это въ самомъ дѣлѣ доказывается также для всѣхъ другихъ тѣлъ; когда магнитъ дѣйствуетъ на желѣзо, то все равно, находится ли между магнитомъ воздухъ, стекло, дерево или другое вещество; дѣйствіе будетъ совершенно того же рода и совершенно такойже силы; только когда между ними находится желѣзо, то притяженіе измѣняется, потому что магнитъ дѣйствуетъ и на это же-

лѣзо. — Кромѣ желѣза мы знаемъ еще два металла, къ которымъ когда бываетъ обращенъ полюсъ магнита, то они притягиваются, именно *Кобальтъ* и *Никкель*.

§ 228.

Теперь посмотримъ, какъ полюсы двухъ магнитовъ дѣйствуютъ другъ на друга. Для этого повѣсимъ бумажную трубочку BC (фиг. 278) на шелковинку и вложимъ въ нее магнитную полосу NS, такъ чтобы она висѣла горизонтально. Тотчасъ увидимъ, что магнитъ начинаетъ обращаться, потомъ около нѣкотораго положенія будетъ колебаться туда и сюда, какъ горизонтальный маятникъ, и наконецъ въ этомъ положеніи придетъ въ покой. Мы замѣтимъ тогда, что одинъ конецъ его N обращенъ къ сѣверу, а другой S къ югу, и какъ бы потомъ мы ни обращали магнитъ, выводя его изъ этого положенія, онъ всегда самъ собою опять придетъ въ оное. Тоже самое бываетъ и со вторымъ магнитомъ N′S′, если его вкладываютъ въ бумажную трубочку вмѣсто NS. Полюсы обращенные къ сѣверу называютъ *сѣверными полюсами*, а другіе *южными*. Если каждый изъ сѣверныхъ полюсовъ означимъ чертою и опять одинъ магнитъ NS повѣсимъ на шелковинкѣ, и къ сѣверному полюсу его N приблизимъ сѣверный полюсъ другаго N′, то конецъ N висящаго магнита будетъ оттолкнутъ полюсомъ N′, также S оттолкнется полюсомъ S′; напротивъ N будетъ притянутъ южнымъ полюсомъ S′, и также S концемъ N′. Изъ этого слѣдуетъ что:

1. Каждый магнитъ имѣетъ два полюса разнородные, изъ которыхъ одинъ называется *сѣвернымъ полюсомъ*, а другой *южнымъ*.

2. Одноименные полюсы двухъ магнитовъ отталкиваются, напротивъ разноименные притягиваются.

Наконецъ посредствомъ тщательныхъ опытовъ нашли, что

3. Отталкиваніе и притяженіе двухъ какихъ нибудь точекъ магнита совершаются въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстояній.

Если магнитную полосу, имѣющую два полюса N и S и безразличную точку A, по срединѣ разломимъ на двѣ половины, то не найдемъ, чтобъ одна половина ея имѣла только одинъ полюсъ сѣверный, какъ прежде, а другая только южный; но въ одно мгновеніе въ половинѣ съ сѣвернымъ полюсомъ въ A появится такой же сильный полюсъ южный какъ и теперешній сѣверный N, въ половинѣ же съ южнымъ полюсомъ окажется при A такой же сильный сѣверный полюсъ, какъ теперешній южный S. Слѣд весь магнитъ какъ будто былъ составленъ изъ двухъ магнитовъ вдвое кратчайшихъ его, которые соединившись противоположными полюсами, дѣйствующими другъ на друга, такъ измѣнили дѣйствіе сихъ послѣднихъ, что въ A весь магнетизмъ исчезъ и дѣйствуютъ только остальные полюсы другихъ концевъ. Каждую половину можно опять разломить на двое и мы получимъ 4 совершенные магнита, каждый съ однимъ сѣвернымъ и однимъ южнымъ полюсомъ; такимъ образомъ можно раздѣлять магниты далѣе и далѣе и мы приведены будемъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

4. Каждый магнитъ состоитъ изъ безчисленно многихъ *магнитныхъ элементовъ*, которыхъ одноименные полюсы всѣ обращены въ одну сторону.

5. Когда два разноименные полюса равной силы тѣсно будутъ соединены другъ съ другомъ, то въ мѣстѣ соединенія они будутъ дѣйствовать какъ не магнитные.

Если желѣзный цилиндръ AB приблизимъ къ сѣверному полюсу N магнита (фиг. 279), то онъ будетъ притянутъ; если потомъ къ концу его B приблизимъ другой желѣзный цилиндръ A′B′, то онъ также будетъ притянутъ концомъ B желѣза и когда посредствомъ приближенія магнитной полоски, повѣшенной, какъ мы выше показали, на шелковинкѣ, изслѣдуемъ природу магнетизма въ B, которымъ производилось притяженіе, то найдемъ, что въ B находится сѣверный магнетизмъ, какъ въ полюсѣ магнита N. Какъ скоро отдалимъ желѣзо AB отъ N, то найдемъ, что оно не сохраняетъ своего магнетизма и что конецъ N ни сколько не потерялъ въ своей силѣ, между тѣмъ какъ тотъ же самый полюсъ N, когда желѣзо AB находилось въ прикосновеніи съ нимъ, дѣйствовалъ слабѣе на отклоненіе приближенной къ нему повѣшенной магнитной полоски, нежели безъ приложенія AB. Предъидущимъ доказывается, что изъ N въ AB нисколько не перешло магнетизма, но что онъ былъ *возбужденъ* въ AB; слѣдовательно должно допустить, что въ желѣзѣ, и при немагнитномъ состояніи его, существовали магнетезмы сѣверный и южный, но только въ *несвободномъ* состояніи. Такъ какъ мы уже прежде принуждены были допустить, что противоположные магнетизмы уничтожаются другъ другомъ въ своемъ дѣйствіи, то простѣе всего принимать, что мы не замѣчаемъ присутствія магнетизмовъ въ желѣзѣ при не магнитномъ состояніи его только отъ того, что противоположные магнетизмы находятся въ каждой желѣзной частицѣ въ равной степени и удерживаютъ другъ друга въ какомъ то *связанномъ состояніи*, которое препятствуетъ имъ дѣйствовать наружу, подобно какъ напр. въ поваренной соли мы не замѣчаемъ свойствъ ни хлора ни натрія, изъ которыхъ соль составлена, или лучше подобно какъ въ

Алгебрѣ отъ сложенія количествъ $+a$ и $-a$ получаемъ 0.

И здѣсь, какъ при теплородѣ и свѣтѣ, представляютъ себѣ, что притягательная сила въ магнитахъ принадлежитъ какому нибудь *веществу*, находящемуся въ стали и въ желѣзѣ и по причинѣ удобнаго разложенія магнетизма въ желѣзѣ при приближеніи его въ магниту и также по причинѣ удобнаго уничтоженія магнетизма послѣ отдѣленія желѣза отъ магнита, предполагаютъ, что это вещество есть *жидкость*.

§ 229.

И такъ по этой теоріи въ каждой частицѣ желѣза или въ каждомъ элементѣ его существуютъ двѣ магнитныя жидкости, одна *сѣверная*, другая *южная*, обѣ въ равномъ количествѣ; частицы одной и тойже жидкости отталкиваются, частицы разнородныхъ жидкостей притягиваются. При обыкновенномъ состояніи желѣза обѣ жидкости въ каждой частицѣ такъ сильно притягиваются и въ слѣдствіе того связываются, что онѣ вовсе не дѣйствуютъ наружу; но если приблизимъ желѣзо къ полюсу магнита, напр. сѣверному, то въ каждомъ элементѣ южная жидкость притягивается а сѣверная отталкивается; отъ этого часть ихъ разлагается, смотря по разлагающей силѣ полюса магнита, южныя жидкости приближаются къ магниту и тамъ ослабляютъ дѣйствіе его, какъ мы видѣли при опытѣ, между тѣмъ какъ сѣверныя скопляются къ отдаленнѣйшимъ отъ магнита концамъ элементовъ и всѣ вмѣстѣ производятъ на этомъ концѣ желѣза сѣверный полюсъ, который дѣйствуетъ на приближенное къ нему другое желѣзо совершенно, какъ самъ магнитъ. При отдаленіи

же желѣза разлагающая сила уничтожается, разложенныя разнородныя магнитныя жидкости каждаго элемента свободно слѣдуютъ своему взаимному притяженію, соединяются и желѣзо опять дѣлается не магнитнымъ.

По этой теоріи легко понять, отъ чего желѣзныя опилки въ магнитныхъ кривыхъ линіяхъ (фиг. 277) принимаютъ видъ линій. Въ самомъ дѣлѣ каждая опилинка въ присутствіи магнита получаетъ магнетизмъ, слѣдовательно два полюса; эти разнородные полюсы притягиваются, по этому опилки соединяются своими полюсами и составляютъ такимъ образомъ линіи.

Если повторимъ тотъ же опытъ, который мы изложили въ предъидущемъ параграфѣ, но съ тѣмъ различіемъ, что приблизимъ къ полюсу магнита N вмѣсто желѣзнаго цилиндра такойже AB, изъ закаленной стали, то увидимъ другое явленіе, именно стальной цилиндръ вначалѣ вовсе не притягивается, особенно если въ магнитѣ полюсъ N не весьма силенъ, но мало по малу начинается притяженіе и дѣлается сильнѣе до опредѣленной степени, которая впрочемъ ниже степени магнетизма въ желѣзѣ; но за то при удаленіи отъ N сталь AB сохраняетъ этотъ магнетизмъ навсегда. По этому въ стали какая то сила противодѣйствуетъ въ началѣ опыта разложенію магнитныхъ жидкостей и послѣ соединенію ихъ; слѣдовательно эта сила противодѣйствуетъ вообще движенію магнитныхъ жидкостей въ элементахъ стали, какъ напр треніе сопротивляется движенію тѣлъ. Эту силу мы назовемъ *задерживательною силою*; она дѣлаетъ существенное различіе между желѣзомъ, въ которомъ она есть 0 или почти 0, и сталью, въ которой она тѣмъ больше, чѣмъ больше сталь закалена. — Имѣя въ виду эту силу легко объяснить себѣ явленія намагничиванія стали. Въ

самомъ дѣлѣ при приближеніи стальнаго цилиндра AB (фиг. 280) къ магнитому полюсу N послѣдній разлагаетъ естественные магнетизмы стали, но задерживательная сила противодѣйствуетъ этому разложенію и по этому оно совершается только медленно, и оканчивается тогда, когда сумма дѣйствій задерживательной силы и взаимныхъ притяженій разложенныхъ магнетизмовъ *n* и *s* каждаго элемента не придетъ въ равновѣсіе съ разлагающею силою магнитнаго полюса N. Если отдалимъ полюсъ N, то раздѣленные магнетизмы *n* и *s* будутъ взаимно притягиваться, какъ и въ желѣзѣ, но здѣсь задерживательная сила сопротивляется движенію ихъ и слѣд. соединенію. Если количество ихъ такъ велико, что взаимное притяженіе ихъ можетъ преодолѣть задерживательную силу, то они соединяются до тѣхъ поръ, пока притяженіе еще не соединившихся магнетизмовъ не будетъ равно силѣ задерживательной; тогда больше не будетъ никакого соединенія. Въ этомъ случаѣ говорятъ, что элементы намагничены до насыщенія или, если это имѣетъ мѣсто во всѣхъ элементахъ, сталь намагничена до *насыщенія*. Слѣд. намагничиваніе до насыщенія есть самая высшая степень *остающагося магнетизма*, который можно дать куску стали и тѣмъ большая степень, чѣмъ больше сила задерживательная, слѣд. чѣмъ больше *закалена сталь*.

§ 230.

Однимъ приближеніемъ стальной полосы къ полюсу N магнита, даже непосредственнымъ прикосновеніемъ, не льзя намагнитить ее до насыщенія, развѣ только въ томъ случаѣ, когда полоса весьма мала и полюсъ N весьма силенъ, какъ напр. шитьевенныя иголки посредствомъ одно-

го прикосновенія къ сильному магниту можно въ самомъ дѣлѣ намагнитить до насыщенія.

Когда же должно намагничивать большія стальныя полосы, то нужно употреблять другіе способы. Прежде дѣлали это посредствомъ такъ называемаго *простаго натиранія*, состоящаго въ томъ, что одинъ конецъ магнита ставятъ перпендикулярно къ одному концу горизонтальной, намагничиваемой стальной полосы, и проводятъ его до другаго конца; потомъ отнимаютъ магнитъ и ставятъ его снова на первый конецъ и повторяютъ натираніе нѣсколько разъ въ одномъ и томъ же направленія; но и этотъ способъ производитъ только слабую степень магнетизма и теперь употребляютъ по этой причинѣ всегда способъ *двойнаго натиранія*, которое производится двоякимъ образомъ:

I. Намагничиваемую полосу AB кладутъ горизонтально (фиг. 281); по срединѣ ея ставятъ 2 магнитныя полосы SN и S′N′ какъ показано въ фигурѣ, въ наклонномъ положеніи такъ, что сѣверный полюсъ одной N лежитъ близъ южнаго полюса S′ другой; потомъ одну, держа ее всегда въ томъ же наклоненіи, проводятъ къ A, вмѣстѣ и другую къ B. На концахъ обѣ полосы поднимаютъ вверхъ, и потомъ опять кладутъ на средину и такимъ образомъ повторяютъ дѣйствіе нѣсколько разъ; послѣ этого переворачиваютъ полосу AB такъ, чтобы нижняя сторона ея лежала вверху и опять натираютъ ее также. Тогда на концѣ B, на которомъ поднимается вверхъ *южный* полюсъ S′, окажется *сѣверный полюсъ*, а на концѣ A, гдѣ поднимается сѣверный полюсъ N, окажется *южный*. Этотъ способъ двойнаго натиранія принадлежитъ Дюгамелю.

II. Опять полосы NS и N′S′, также какъ и въ *Дюгамелевомъ* способѣ, ставятъ посрединѣ; между ними кладутъ небольшой кусочикъ дерева, держащаго ихъ всегда въ одномъ разстояніи, и проводятъ оба вмѣстѣ сперва къ A, потомъ назадъ къ B, потомъ опять къ A и такимъ образомъ нѣсколько разъ; наконецъ идя отъ B къ срединѣ останавливаются и здѣсь поднимаютъ оба магнита; такъ же и здѣсь въ A оказывается южный полюсъ, въ B сѣверный. Этотъ способъ *Эпинуса* особенно употребляется для намагничиванія толстыхъ полосъ; напротивъ Дюгамелевымъ способомъ получается правильнѣйшее раздѣленіе магнетизма и онъ заслуживаетъ предпочтеніе для тонкихъ полосокъ.

Но при обоихъ способахъ можемъ гораздо больше усилить дѣятельность, если по продолженію AB положимъ еще два какъ можно сильные магнита такъ, чтобы A лежалъ на сѣверномъ полюсѣ а B на южномъ, какъ это показано въ фигурѣ въ N_0 и S_0.

Когда хотятъ сдѣлать сильный магнитъ, то составляютъ его изъ многихъ тонкихъ полосъ, у которыхъ всѣхъ одноименные полюсы обращены въ одну сторону; такое соединеніе называется *магнитною системою* и также, если въ ней очень много полосъ, *магнитнымъ магазиномъ*. Концы всѣхъ полосъ обыкновенно соединяются мягкимъ желѣзомъ, которое отъ этого намагничивается и на своемъ концѣ показываетъ общій всѣмъ полюсъ. Фигура 282 показываетъ такую систему изъ 8 полосъ, которыя можно видѣть расположенными въ два слоя, въ каждомъ по 4, какъ показано въ I сверху, въ II съ боку. A и B суть желѣзные куски или *оправы*. Такія оправы употребляются и въ естественныхъ магнитахъ. Если напр. NS (фиг. 283) есть есвенный магнитъ, N сѣверная половина и S южная, то желѣзные пластинки AM приправляются съ одной стороны и BN съ другой, которыя обѣ концами выдаются въ A и B. Тогда A представляетъ сѣверный

полюсъ а В южный, С кусокъ желѣза притягиваемый имъ; къ нему при D привѣшиваютъ чашку, на которую можно класть гири, для того чтобы опредѣлить, какъ сильно магнитомъ притягивается желѣзо С, называемое обыкновенно *якоремъ*, по причинѣ формы данной этому желѣзу въ прежнія времена. — Оправленному такимъ образомъ естественному магниту соотвѣтствуютъ искуственные подковообразные, изъ которыхъ одинъ представленъ въ фиг. 284 въ I спереди, въ II съ боковъ. Онъ состоитъ изъ 5 отдѣльныхъ подковообразныхъ магнитовъ, какъ видно въ фигурѣ II, лежащихъ одинъ на другомъ, но такъ, что средній концами своими выдается больше всѣхъ. Эти подковы сжаты вмѣстѣ тисками; MN есть притянутый якорь, на который можно повѣсить чашку.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О МАГНЕТИЗМѢ ЗЕМНАГО ШАРА.

§ 231.

Мы уже видѣли въ § 228 что, если повѣсимъ магнитную стрѣлку такъ, что бы она могла свободно двигаться въ горизонтальной плоскости около вертикальной оси, то она сама собою принимаетъ направленіе отъ сѣвера къ югу. Можно установить стрѣлку другимъ образомъ; для этого въ срединѣ А (фиг. 285) находится маленькая шляпка, которою стрѣлка NS кладется на острiѣ, стоящемъ на подставкѣ АВ.

Если кромѣ того стрѣлка движется внутри круга раздѣленнаго на градусы, на которомъ можно видѣть положеніе ея, то этотъ приборъ называется *компасомъ*, инструментомъ, какъ извѣстно, весьма полезнымъ въ мореплаваніи. Впрочемъ стрѣлка, если опредѣлить направленіе ея съ точностію, не прямо обращается съ сѣвера на югъ, но въ нѣкоторыхъ мѣстахъ отклоняется къ западу, а въ другихъ къ востоку болѣе или менѣе. Такъ напр. въ Петербургѣ отклоненіе къ западу $= 6^0$, въ Москвѣ $= 5^0$ З., въ Казани $= 2^0\frac{1}{2}$ В, въ Парижѣ $= 19^0$ З. и проч. Вообще въ Атлантическомъ Океанѣ отклоненіе западное, въ Тихомъ Океанѣ восточное. Это отклоненіе стрѣлки называется *магнитнымъ склоненіемъ*. Оно весьма различно не только въ различныхъ мѣстахъ, но, по точнымъ изслѣдованіямъ, измѣняется и въ одномъ и томъ же мѣстѣ съ теченіемъ времени. Такъ напр. въ Парижѣ въ 1580 году склоненіе было 11^0 восточное; съ сего времени оно уменьшалось; въ 1666 году сдѣлалось $= 0$ т. е. стрѣлка прямо обращена была къ сѣверу; потомъ оно увеличивалось къ западу до 1814 года, въ которомъ оно было $22^0\frac{1}{2}$; съ сего времени оно уменьшается каждогодно на нѣсколько минутъ. Кромѣ того магнитная стрѣлка значительно измѣняетъ свое положеніе и въ продолженіи дня; именно она движется къ западу съ утра до 2 часовъ а съ 2 часовъ до вечера къ востоку такъ, что разность между положеніемъ стрѣлки утромъ и въ 2 часа лѣтомъ простирается у насъ до $\frac{1^0}{4}$ а зимою до $\frac{1^0}{10}$. Наконецъ магнитная стрѣлка подвержена еще совершенно неправильнымъ мгновеннымъ отклоненіямъ, часто простирающимся до 1^0 или 2^0, которыя особенно бываютъ сильны при появленіи сѣвернаго сіянія.

Склоненіе магнитной стрѣлки показываетъ, къ какой

сторонѣ свѣта обращенъ сѣверный конецъ магнитной стрѣлки; но оно не показываетъ намъ, подъ какимъ угломъ дѣйствуетъ магнитное притяженіе земли, отъ котораго зависитъ склоненіе, потому что, если направленіе этого притяженія не горизонтально, то обыкновенный компасъ не покажетъ онаго; ибо въ компасѣ стрѣлка при устройствѣ ея такъ уравновѣшивается, что она движется только въ горизонтальной плоскости. Если же устроимъ стрѣлку такъ, что бы она могла двигаться около горизонтальной оси въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ направленіе стрѣлки въ компасѣ, и если прежде намагничиванія уравновѣсимъ ее такъ, чтобы центръ тяжести ея совпадалъ съ осью вращенія и слѣд. стрѣлка при всякомъ положеніи относительно къ горизонту оставалась въ равновѣсіи, то равновѣсіе это будетъ тотчасъ нарушено, какъ скоро стрѣлка будетъ намагничена. Напр. въ Петербургѣ сѣверный конецъ ея наклоняется подъ 71° къ горизонту, въ Москвѣ подъ 69°; уголъ составленный направленіемъ магнитной притягательной силы земли съ горизонтальною линіею называется *магнитнымъ наклоненіемъ*. И такъ *склоненіе* и *наклоненіе* опредѣляютъ направленіе магнитной силы земли; первое показываетъ положеніе такъ называемаго *магнитнаго меридіана* (т. е. плоскости проведенной вертикально черезъ направленіе компасной стрѣлки), въ противоположность *географическому меридіану* (т. е. плоскости, проведенной вертикально черезъ земные полюсы); напротивъ наклоненіе показываетъ направленіе силы въ этой плоскости. — Наклоненіе весьма различно на землѣ; есть одна линія, окружающая землю въ направленіи экватора, по точкѣе, имѣющая только двѣ общія точки пересѣченія съ нимъ, на которой наклоненіе есть 0 т. е. гдѣ стрѣлка наклоненія горизонтальна; эта линія называется *магнитнымъ экваторомъ*. Къ сѣверу отъ него сѣверный конецъ стрѣлки наклоняется къ землѣ, а къ югу южный; слѣд. въ южномъ полушаріи притягивается сѣверный магнетизмъ, а въ сѣверномъ южный; по сему мы должны допустить, что въ сѣверномъ полушаріи заключается свободный *южный* магнетизмъ, а въ южномъ свободный *сѣверный*. Французы по этому находятъ естественнѣе называть свободный магнетизмъ въ сѣверномъ полушаріи *сѣвернымъ магнетизмомъ*, а свободный магнетизмъ въ южномъ полушаріи *южнымъ*; при этомъ предположеніи магнетизмъ конца стрѣлки обращеннаго къ сѣверу есть *южный*, ибо онъ притягивается сѣвернымъ магнетизмомъ земли, и по этому Французы называютъ этотъ конецъ или этотъ полюсъ стрѣлки: *pole austral*, между тѣмъ какъ мы называемъ его сѣвернымъ; другой же полюсъ называютъ: *pole boréal*, который у насъ называется южнымъ.

Наклоненіе вообще увеличивается съ широтою какъ въ сѣверномъ такъ и въ южномъ полушаріи и доказано существованіе двухъ точекъ въ сѣверномъ полушаріи и двухъ въ южномъ, гдѣ наклоненіе есть 90°, т. е. гдѣ стрѣлка наклоненія стоитъ совершенно вертикально, или гдѣ притягательная магнитная сила дѣйствуетъ вертикально.

Эти точки называютъ *магнитными полюсами* и при этомъ представаютъ себѣ землю большимъ магнитомъ съ двумя сѣверными и двумя южными полюсами. На одномъ изъ нихъ, находящемся въ сѣверной Америкѣ подъ широтою 70°, въ самомъ дѣлѣ посредствомъ опытовъ нашли наклоненіе 90°; существованіе остальныхъ доказывается увеличиваніемъ наклоненія при приближеніи къ этимъ точкамъ со всѣхъ сторонъ.

Въ тѣхъ странахъ, гдѣ лежатъ эти полюсы *притягательная магнитная сила* земли есть наибольшая, какъ видно изъ того, что если стрѣлку наклоненія вывесть изъ вертикальнаго ея положенія, то она гораздо будетъ скорѣе совершать свои колебанія, нежели въ другихъ мѣстахъ, гдѣ наклоненіе меньше 90°; на магнитномъ экваторѣ колебанія самыя медленныя. Подобнымъ образомъ мы видѣли, что ускореніе колебаній маятника по мѣрѣ приближенія къ полюсамъ земли, показываетъ, что тяжесть на полюсахъ сильнѣе, нежели въ другихъ мѣстахъ.

И такъ изъ всего сказаннаго видно, что земля наша въ самомъ дѣлѣ дѣйствуетъ какъ большой магнитъ, котораго два сѣверные полюса находятся одинъ въ Америкѣ, а другой къ сѣверу отъ Азіатскихъ сѣверныхъ береговъ, и два южные одинъ на югъ отъ Новой Голландіи, другой подъ долготою между островомъ Отаити и между Америкою въ южномъ Ледовитомъ морѣ. Весьма замѣчательно, что по крайнѣй мѣрѣ сѣверные магнитные полюсы земли почти совершенно совпадаютъ съ полюсами холода (стр. 497).

§ 232.

Если земной шаръ можно считать за большой магнитъ, то онъ долженъ дѣйствовать и на мягкое желѣзо, какъ магнитъ т. е. если въ какомъ нибудь мѣстѣ держать желѣзный прутъ близко къ направленію магнитной силы, слѣд. въ направленіи стрѣлки наклоненія или близко къ нему, напр. вертикально, то онъ сдѣлается магнитнымъ и внизу будетъ опять сѣверный полюсъ а вверху южный; если вдругъ перевернемъ прутъ такъ, чтобы верхній конецъ былъ внизу, а нижній вверху, то магнетизмъ превратится, а внизу будетъ опять сѣверный, вверху южный полюсъ. — Теперь когда корабль плыветъ по морю, то въ немъ обыкновенно находятся большія желѣзныя массы, напр. пушки, которыя всѣ на нижнемъ концѣ будутъ имѣть сѣверный полюсъ и на верхнемъ южный отъ дѣйствія земли и по этому могутъ имѣть вліяніе на компасъ находящійся на кораблѣ; это дѣйствіе будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше магнитная сила земли въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится корабль и отъ этого происходитъ найденое на многихъ корабляхъ отклоненіе компасной стрѣлки отъ того положенія, которое соотвѣтствуетъ склоненію въ этомъ мѣстѣ; оно называется *девіаціею*; вліяніе ея особенно замѣтно вблизи отъ магнитныхъ полюсовъ. Барловъ предложилъ средство уничтожить вліяніе этого уклоненія тѣмъ, что въ слѣдствіе особенныхъ, произведенныхъ нарочно для этого опытовъ, желѣзный кругъ устанавливается такъ что онъ, посредствомъ магнетизма возбужденнаго въ немъ землею, также сильно дѣйствуетъ на стрѣлку, какъ и другія желѣзныя массы, но только въ противоположную сторону. Такъ какъ съ увеличеніемъ магнитной силы и магнетизмъ въ желѣзномъ кругѣ увеличивается въ томъ же отношеніи какъ въ остальныхъ желѣзныхъ частяхъ, производящихъ девіацію, то вознагражденіе всегда имѣетъ мѣсто. Этотъ *вознаградительный кругъ Барлова* въ самомъ дѣлѣ весьма много уменьшаетъ девіацію, когда онъ употребляется какъ слѣдуетъ.

ОТДѢЛЕНІЕ ЧЕТВЕРТОЕ.

ОБЪ ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ОТЪ ТРЕНІЯ.

§ 233.

Если кусокъ смолы или сургуча трутъ шерстяною матеріею, или стеклянную трубку кожею, на которой наложена цинковая амальгама, то находятъ, что они притягиваютъ легкія тѣла; вмѣстѣ съ тѣмъ отъ нихъ распространяется особенный запахъ, весьма похожій на фосфорный, и когда приближается къ этимъ тѣламъ лице, то на немъ производится такое ощущеніе, какъ будто на лице падаетъ паутина; наконецъ находятъ, что когда палецъ приближенъ будетъ къ такой стеклянной или смоляной трубкѣ, то изъ нея выскакиваютъ маленькія искры

съ нѣкоторымъ трескомъ. Всѣ эти свойства показываютъ, что стекло и смола находятся въ состояніи, въ которомъ они обыкновенно не бываютъ; говорятъ тогда, что они *наэлектризованы*, а то что оказывается въ нихъ при этомъ состояніи, называется *электричествомъ*.

Если наэлектризованную стеклянную трубку приведемъ въ прикосновеніе съ металлическимъ прутомъ, который держимъ въ рукѣ, и если проведемъ его по трубкѣ взадъ и впередъ, то трубка скоро потеряетъ все электричество; но если вмѣсто металлическаго прута возмемъ стеклянную палочку, и съ этою трубкою сдѣлаемъ тоже самое, то этаго не будетъ, но стеклянная трубка удержитъ все свое электричество, какъ будто къ ней совершенно не касались. И такъ стекло и металлъ относятся къ наэлектризованному тѣлу различно; первое не проводитъ черезъ себя электричества, а металлъ проводитъ его въ руку, которою его держимъ, послѣ чего чрезъ человѣческое тѣло оно теряется въ землѣ. По этому стекло называютъ *непроводникомъ*, а металлъ *проводникомъ* электричества. Всѣ другія тѣла раздѣляютъ на проводники и непроводники, но въ весьма различной степени. Самые хорошіе проводники суть металлы; посредственные проводники суть уголь, солома, камни, дерево, особенно сырое, бузинная сердцевина, жидкости, особенно вода и кислоты и т. д. Такъ называемые непроводники суть: стекло, смола, шелкъ, сухой воздухъ и проч

Если прикрѣпимъ металлическій шарикъ къ стеклянной палочкѣ, и держа ее въ рукѣ, приблизимъ шарикъ къ наэлектризованной стеклянной трубкѣ, то часть электричества перейдетъ изъ нее въ металлическій шарикъ, но дальше изъ него не пойдетъ, потому что стекло и воздухъ, какъ худые проводники, препятствуютъ этому переходу;

тоже самое бываетъ, когда шарикъ изъ металла, или, чтобы онъ былъ еще легче, изъ бузинной сердцевины повѣсимъ на шелковинкѣ; такой шарикъ называется *уединеннымъ*. Если бузинный шарикъ, уединенный на шелковинкѣ, приблизимъ къ натертой стеклянной трубкѣ, то онъ прежде будетъ притянутъ ею, и тогда часть электричества перейдетъ изъ стекла въ него; послѣ этаго замѣчаютъ, что шарикъ сильно отталкивается стекломъ; если такимъ же образомъ уединимъ другой удободвижимый бузинный шарикъ, наэлектризуемъ его посредствомъ наэлектризованнаго стекла и потомъ приблизимъ его къ первому, то оба они будутъ отталкиваться другъ другомъ. Тоже самое бываетъ, когда оба шарика получаютъ электричество отъ смоляной палочки. Отсюда мы должны заключить, что два количества электричества, *взятыя изъ одного и тогоже источника, взаимно отталкиваются.*

На этомъ свойствѣ основано устройство такъ называемыхъ *электроскоповъ*, или *электрометровъ*, изъ которыхъ особенно 3 употребительны:

1. *Соломенный электрометръ* Вольты состоитъ изъ 2 соломенокъ mn и $m'n'$ (фиг. 286), которыя посредствомъ двухъ мѣдныхъ колечекъ внутри стеклянаго сосуда повѣшены на проволокѣ AB, оканчивающейся въ верху шарикомъ A. Когда шарикъ A прикасается къ наэлектризованному тѣлу, то электричество распространяется чрезъ проволоку AB въ соломенкахъ; слѣдовательно онѣ взаимно оттолкнутся, и примутъ положеніе $m'v'$ и mv. Обыкновенно внизу соломенокъ находится раздѣленная на градусы дуга MN, на которой можно видѣть большій, или меньшій уголъ, составляемый соломенками, и слѣд. можно опредѣлить большую, или меньшую степень сообщеннаго электричества.

2. Въ *Бенетовомъ электрометрѣ* вмѣсто соломенокъ находятся тонкія полоски изъ листоваго золота, которыя легче, и при томъ лучше проводятъ электричество; впрочемъ онъ устроенъ совершенно также, какъ и предъидущій; онъ чувствительнѣе соломеннаго. Иногда берутъ только одну полоску изъ листоваго золота, а вмѣсто другой употребляютъ неподвижную проволоку; тогда получается только половина угла отклоненія.

3. Третій *электроскопъ*, или *Боненбергеровъ*, который еще чувствительнѣе предшествующихъ, мы опишемъ и объяснимъ послѣ.

Всѣ эти три прибора показываютъ только, больше ли находится въ какомъ нибудь тѣлѣ электричества, или меньше, но они не означаютъ, *во сколько разъ* количество электричества больше въ одномъ случаѣ, нежели въ другомъ; по этому они лучше называются *электроскопами*, нежели *электрометрами*. До сихъ поръ мы имѣемъ одинъ только настоящій *электрометръ*, т. е. такъ называемые электрическіе крутительные вѣсы Кулона (Coulomb), но здѣсь мы должны опустить ихъ описаніе.

Если возмемъ металлическій шаръ, наэлектризуемъ его и коснемся къ нему другимъ уединеннымъ металлическимъ шаромъ такой же величины, то электрометръ покажетъ въ обоихъ шарахъ одинаковое количество электричества, такъ что слѣд. электричество равномѣрно раздѣлилось между обоими шарами. Если же одинъ шаръ будетъ больше другаго, то въ первый перейдетъ больше электричества, нежели во второй, но точные опыты показали, что это бываетъ не въ отношеніи поверхностей, а въ меньшемъ содержаніи; когда два шара, поверхности которыхъ относятся какъ 1: 2, касаются другъ друга, то шаръ, вдвое меньшій,

получитъ болѣе $^1/_2$ существующаго электричества. Впрочемъ количество электричества, при раздѣленіи между двумя шарами, на большемъ шарѣ всегда возрастаетъ по мѣрѣ того, какъ діаметръ его увеличивается; по этому если одинъ шаръ безконечно великъ въ сравненіи съ другимъ, то все почти электричество перейдетъ въ большій шаръ, и по этому маленькій будетъ казаться не наэлектризованнымъ. Отъ сего происходитъ, что на землѣ всѣ наэлектризованные проводники, сообщающіеся съ землею, тотчасъ теряютъ свое электричество; ибо шаръ земной въ отношеніи къ другимъ тѣламъ можно считать за безконечно большой. Когда такимъ образомъ изъ какого нибудь тѣла извлекается все электричество, то это тѣло называется *разряженнымъ*.

§ 234.

Всѣ до сихъ поръ упомянутыя свойства принадлежатъ равнымъ образомъ электричеству при треніи стекла и смолы; слѣд. можно бы было думать, что въ нихъ электричество одного рода; но не трудно убѣдиться въ противномъ. Мы уже видѣли, что два бузинные шарика, уединенные на шелковинкѣ и оба наэлектризованные потертымъ стекломъ, или оба потертою смолою, отталкиваются взаимно. Но если одинъ шарикъ получитъ свое электричество отъ смолы, другой же отъ стекла, то они взаимно притягиваются. Слѣд. изъ сего мы должны заключить, что электричество смолы содержится къ электричеству стекла совсемъ иначе, нежели какъ электричество смолы къ самому себѣ, или электричество стекла къ самому себѣ; по этому мы должны допустить одно электричество *стеклянное*, другое, отличное отъ него, электричество *смолистое*; частицы одного и тогоже электричества отталкиваются, напротивъ разнородныя электричества притягиваются. Если сѣру потерѣть, напр. кожею, то она также наэлектризовывается, какъ смола, напротивъ трущая кожа получаетъ электричество стекла; изъ этого видно, что наименованіе стеклянпаго электричества и смолистаго не удобно, потому что есть много еще другихъ тѣлъ, оказывающихъ точно такія же явленія, какія мы видимъ въ стеклѣ и смолѣ; по этому наименованія сіи оставлены и перваго рода электричество называютъ *положительнымъ*, втораго рода *отрицательнымъ*, первое означается $+E$, второе $-E$. Причина этого означенія состоитъ въ томъ, что найдено, что если даютъ одному тѣлу два равныя количества $+E$ и $-E$, то они соединяются между собою такъ, что въ тѣлѣ незамѣтно нисколько электричества или, какъ обыкновенно пишутъ, $0E$, какъ въ алгебрѣ $+a$ и $-a$ сложенныя вмѣстѣ даютъ 0. Отношеніе двухъ родовъ электричества сходно съ отношеніемъ сѣвернаго и южнаго магнетизмовъ, съ тѣмъ только различіемъ, что электричество можетъ распространяться свободно черезъ всю длину проводниковъ своихъ, между тѣмъ какъ магнетизмъ движется только въ магнитныхъ элементахъ. Такъ какъ въ ненамагниченномъ желѣзѣ и стали и прежде намагничиванія находятся большія количества магнетизма, но въ такомъ отношеніи, что количество сѣвернаго совершенно равно количеству южнаго, такъ и тѣла, называемыя неэлектрическими, содержатъ въ себѣ значительныя количества электричества, но такъ что $+E$ совершенно равно $-E$; отъ этого они столь сильно соединены между собою, что существованіе ихъ можно узнать не иначе какъ когда они отдѣлены другъ отъ друга. Треніе есть средство произвесть это раздѣленіе, впро-

чемъ не изъясненнымъ до сихъ поръ для насъ образомъ и притомъ такъ, что на одномъ изъ трущихся тѣлъ получается избытокъ +E, а на другомъ —E; слѣд. когда стеклянную трубку тремъ амальгамированною кожею, то на стеклѣ получается +E, а на кожѣ —E, но только это послѣднее тотчасъ проходя чрезъ нашу руку теряется въ земномъ шарѣ, потому что кожа и рука суть проводники электричества; такимъ же образомъ шерстяная матерія при треніи смолы получаетъ +E, которое тотчасъ уходитъ въ землю, между тѣмъ какъ —E остается на смолѣ, какъ на худомъ проводникѣ. Если уединимъ металлическую пластинку, укрѣпляя ее на стеклянной рукояткѣ и потремъ ее шелковою матеріею, то она наэлектризуется, какъ въ этомъ можно удостовѣриться посредствомъ электроскопа. Если же потремъ ее другою металлическою пластинкою, то этого не бываетъ, потому что возбужденныя на обѣихъ пластинкахъ электричества опять соединяются, попричинѣ хорошей проводимости обѣихъ пластинокъ. И такъ отъ тренія всѣ тѣла электризуются; съ тѣмъ только различіемъ, что хорошіе проводники должно изолировать, чтобы получить въ нихъ электричество, и чтобы по крайней мѣрѣ одно изъ трущихся тѣлъ было худой проводникъ, дабы раздѣленныя треніемъ электричества не соединились тотчасъ опять; слѣд. если читаемъ иногда въ прежнихъ сочиненіяхъ о физикѣ, что нѣкоторыя тѣла, электризующіяся отъ тренія, — суть *идіоэлектрическія*, а другія нѣтъ, то это значитъ тоже, что: нѣкоторыя тѣла суть худые проводники электричества, другія хорошіе.

Если станемъ изслѣдовать, какія тѣла получаютъ отъ тренія +E и какія —E, то найдемъ, что это зависитъ отъ трущихъ тѣлъ, такъ что одно и тоже тѣло, если его трутъ различными тѣлами можетъ получить +E и —E,

Такъ напр. стекло электризуется положительно, если его потерѣть амальгамою, и отрицательно, если потерѣть шерстью живой кошки. Но какое изъ двухъ трущихся тѣлъ бываетъ заряжено +E и какое —E, это можно рѣшить только посредствомъ опытовъ, потому что нашли, что малѣйшее измѣненіе поверхности тѣла измѣняетъ это отношеніе. — Такъ напр. полированное стекло въ отношеніи къ шелку есть электроположительное, а матовое электроотрицательное. Посредствомъ многихъ опытовъ найдено, что всѣ тѣла могутъ быть расположены въ одинъ рядъ, такъ что всѣ послѣдующія въ отношеніи къ предъидущимъ въ ряду тѣлъ, при треніи дѣлаются электроотрицательными. Этотъ рядъ, для самыхъ обыкновенныхъ тѣлъ, есть слѣдующій:

+

1. Мѣхъ кошки
2. Полированное стекло
3. Шерстяная матерія
4. Дерево
5. Бумага.
6. Шелкъ.
7. Гуммилакъ.
8. Матовое стекло

—

§ 235

Основываясь на прежде сказанномъ, составили себѣ слѣдующую теорію электричества: 1. Есть два рода электричества, которыя мы представляемъ себѣ въ видѣ двухъ жидкостей, по причинѣ большой ихъ удободвижимости; одну называютъ *положительною*, другую *отрицательною*.

2. Частицы однородныхъ электричествъ отталкиваются, разнородныхъ притягиваются и притомъ это притяженіе и отталкиваніе происходитъ такъ, что дѣйствіе этихъ силъ прямо пропорціонально количеству дѣйствующихъ электричествъ и обратно пропорціонально квадратамъ разстояній дѣйствующихъ другъ на друга частицъ.

3. Въ каждомъ тѣлѣ находится большое количество обѣихъ электричествъ, но обыкновенно столько + Е сколько и — Е, которыя взаимно связываются. Тогда говорятъ, что тѣло въ отношеніи къ электричеству, находится *въ естественномъ состояніи.* Треніе есть средство раздѣлить эти электричества между двумя трущимися тѣлами, такъ что одна часть естественнаго электричества разлагается, изъ нихъ + Е переходитъ на одно, — Е на другое тѣло.

4. Тѣла имѣютъ различную способность проводить электричество, что надо разумѣть слѣдующимъ образомъ: въ слѣдствіе взаимнаго отталкиванія частицы свободнаго электричества въ наэлектризованномъ тѣлѣ стремятся отдалиться другъ отъ друга какъ можно болѣе, но неэлектризованныя тѣла, приведенныя въ прикосновеніи съ электризованными, пропускаютъ чрезъ себя эти электрическія частицы болѣе или менѣе; они представляютъ больше или меньше *сопротивленія*; чѣмъ это послѣднее больше, тѣмъ проводникъ хуже, чѣмъ меньше сопротивленіе, тѣмъ лучше проводникъ.

Изъ этихъ четырехъ законовъ мы будемъ въ состояніи объяснить явленія электричества отъ тренія; вопервыхъ изъ взаимнаго отталкиванія электрическихъ жидкостей одного и того же рода слѣдуетъ, что въ уединенномъ проводникѣ электричество должно распространяться совершенно только по *поверхности.* Въ самомъ дѣлѣ представимъ себѣ одинъ наэлектризованный и уединенный металлическій шаръ А (фиг. 287) и предположимъ на время, что электричество распространено по всюду во внутренности равномѣрно. Если представимъ себѣ одну частицу его М и около ея шарообразную поверхность *тnp* касающуюся большаго шара А въ *т*, то М очевидно съ

одинаковою силою будетъ отталкиваема всѣми частицами одноименной электрической жидкости, находящимися внутри шарообразной поверхности *тnp*, слѣд. она будетъ въ равновѣсіи. Но на нее дѣйствуютъ еще всѣ электрическія частицы находящіяся внѣ *тnp*, отталкивая ее, и отъ этого необходимо произойдетъ равнодѣйствующая сила, которая будетъ толкать частицу М отъ центра къ окружности *т*. Слѣд. она и будетъ двигаться туда. Тоже самое можно сказать и о другихъ частицахъ и слѣд. всѣ онѣ будутъ стремиться къ поверхности и будутъ стараться вытти изъ шара, и вышли бы въ самомъ дѣлѣ, еслибъ воздухъ не представлялъ имъ большое сопротивленіе. Но какъ бы велико ни было это сопротивленіе, однако электричество можетъ мало по малу преодолѣть оное; и въ самомъ дѣлѣ мы находимъ, что всякое наэлектризованное тѣло мало по малу теряетъ въ воздухѣ свое электричество тѣмъ болѣе, чѣмъ влажнѣе воздухъ и чѣмъ менѣе оно сгущено. Подъ воздушнымъ насосомъ электричество проведенное въ пустое пространство теряется весьма скоро. Если тѣло не есть шаръ, а имѣетъ цилиндрическую форму съ закругленными концами, какъ АВ (фиг. 288), то и здѣсь электрическія частицы стараются какъ можно болѣе отдалиться другъ отъ друга и потому онѣ скопляются въ обильномъ количествѣ на концахъ А и В. Чѣмъ тонѣе цилиндръ или чѣмъ острѣе концы его А и В, тѣмъ больше сіе накопленіе электритества и наконецъ при совершенно остромъ концѣ скопится электричетсва такъ много, что воздухъ не будетъ въ состояніи преодолѣть его стремленія и электричество съ большою скоростію выходитъ чрезъ остроконечіе. Доказательство этому видимъ въ *Франклиновомъ колесѣ.* Двѣ проволоки AF и BD (фиг. 289. I) сложенны на крестъ и

прикрѣплены на маленькой пластинкѣ C; въ ней внизу находится шляпка, какъ въ компасной стрѣлкѣ, которою она кладется на тонкое стальное острконечіе; отъ этого весь приборъ можетъ легко вертѣться въ горизонтальной плоскости ADFB около C. Концы всѣхъ проволокъ, какъ показано въ фигурѣ, подъ прямымъ угломъ загнуты въ одну сторону и заострены; фиг. II представляетъ приборъ со стороны; GC есть остроконечіе уединенное стеклянною ножкою GK. Если колесо чрезъ остріе GC зарядимъ электричествомъ, то оно выходитъ изъ остроконечій и здѣсь оказывается тоже, что бываетъ при истеченіи жидкостей при Сегнеровомъ колесѣ (§ 88); колесо обращается въ направленіи стрѣлки.

Чтобы достать черезъ треніе электричество въ большемъ количествѣ и съ большею легкостію, употребляютъ электрическую машину. Обыкновенное ея устройство представлено въ фигурѣ 290. Она состоитъ изъ 3 главныхъ частей:

1. Изъ *тромаго тѣла* т. е. стекляннаго круга AB имѣющаго по срединѣ мѣдную горизонтальную ось C, которою онъ съ обѣихъ сторонъ лежитъ на уединяющихъ стеклянныхъ ножкахъ CM, и посредствомъ рукоятки могущаго обращаться около C.

2. Изъ *трущаго тѣла*, состоящаго изъ двухъ кожаныхъ подушекъ F набитыхъ конскимъ волосомъ, которыя покрыты на поверхности своей амальгамою изъ 2 частей ртути и 1 части цинка; они плотно прилегаютъ съ обѣихъ сторонъ къ стеклянному кругу, такъ что когда его обращаютъ, то онъ сильно трется ими. Подушки посредствомъ металлическихъ частей сообщены съ металлическимъ шарикомъ K, который прикрѣпленъ къ уединяющей стеклянной ножкѣ KN

3. Изъ *Кондуктора* т. е. металлическаго цилиндра DG съ закругленными концами; на одномъ изъ этихъ концовъ находится вилкообразная металлическая часть, которая столько захватываетъ круга съ обѣихъ сторонъ, сколько натирается подушками F; на внутренней сторонѣ вилки, обращенной къ стеклу, находятся маленькія остроконечія. Кондукторъ служитъ для принятія электричества возбужденнаго въ стеклѣ.

Когда обращается кругъ, то стекло между подушками наэлектризовывается положительно; на подушкахъ столько же возбуждается — E, и скоро распространяется и на шарикъ K. Если бы это электричество отрицательное оставалось всегда въ шарикѣ и въ подушкахъ, то при дальнѣйшемъ обращеніи круга оно соединилось бы съ + E, возбужденнымъ въ кругѣ, и слѣд. уменьшило бы это послѣднее. По этому — E нужно провесть въ землю изъ шарика, соединяя K съ землею посредствомъ металлической цѣпи или прикасаясь къ нему рукою. Тогда + E, возбужденное при F, остается на стеклѣ до тѣхъ поръ пока не пройдетъ чрезъ остроконечіе въ кондукторъ и соберется тамъ. По мѣрѣ того какъ количество электричества въ кондукторѣ становится больше и больше, частицы его отталкиваются сильнѣе и сильнѣе, по этому онѣ стремятся болѣе и болѣе преодолѣть давленіе воздуха и слѣд. большая и большая часть его переходитъ въ воздухъ. Когда въ продолженіи полнаго обращенія круга выходящее изъ кондуктора въ воздухъ количество электричества будетъ равно количеству возбужденному треніемъ круга, то кондукторъ будетъ получать въ каждое мгновеніе столько электричества, сколько онъ теряетъ; слѣд, тогда онъ достигнетъ maximum заряженія. Изъ этого видно, что одна и таже машина можетъ заряжать кондукторъ въ

различной степени, смотря по тому, проводитъ ли окружающій воздухъ электричество хуже или лучше и въ самомъ дѣлѣ электрическія машины слабѣе дѣйствуютъ во время сырой погоды, нежели во время сухой.

Посредствомъ электрической машины обыкновенно производятъ различные опыты, которые по большей части служатъ игрушками и легко могутъ быть изъяснены изъ выше сказаннаго. Когда кто нибудь уединяетъ себя, становясь на скамейку съ стеклянными ножками и наложитъ руку на кондукторъ, то онъ представляетъ какъ будто продолженіе кондуктора и по этому при обращеніи круга также наэлектризовывается, какъ самый кондукторъ. Такъ какъ электричество сообщается и волосамъ этой особы, то они будутъ отталкиваться, какъ соломенки электроскопа, отъ этого волосы станутъ дыбомъ. Если другая особа касается какого нибудь мѣста наэлектризованной особы, то она получаетъ искру какъ изъ кондуктора.

Если въ нѣкоторомъ разстояніи отъ кондуктора А поставимъ металлическій шаръ В сообщающійся съ землею, и между ними повѣсимъ на шелковинкѣ легкій полый металлическій шарикъ С, то при обращеніи круга шарикъ С будетъ притянутъ къ А, получитъ отъ него + Е и потомъ оттолкнется до того, что коснется шара В, гдѣ его + Е уйдетъ въ землю; по этому онъ опять будетъ притянутъ кондукторомъ А и такимъ образомъ онъ безпрестанно будетъ двигаться туда и сюда. Это движеніе туда и сюда особенно часто употребляется для забавы, на прим. въ электрическомъ звонѣ, въ электрической пляскѣ, въ электрическихъ качеляхъ и проч.

На явленіи электрической искры основывается такъ называемая электрическая иллюминація. Если электричество проходитъ чрезъ воздухъ изъ одного проводника въ другой, то оно является въ видѣ искры. Теперь если къ заряженному кондуктору А (фиг. 291) приблизится проводникъ *abcdf*, состоящій изъ многихъ проводниковъ *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, раздѣленныхъ промежутками воздуха, и если послѣдній проводникъ *e* будетъ сообщенъ съ землею посредствомъ проводящей цѣпи *ef*, то электричество перескочитъ изъ А въ *a*, а потомъ въ *b*, далѣе въ *c*, *d*, *e* и наконецъ идетъ черезъ *e f* въ землю; при каждомъ переходѣ электричества видна будетъ искра. Къ тому же посредствомъ точныхъ опытовъ доказано, что электричество движется даже скорѣе свѣта, слѣдовательно всѣ искры будутъ видимы въ одно время. Если устроимъ проводникъ такъ, чтобы промежутки составляли какую нибудь фигуру, то при каждомъ переходѣ электричества вся фигура будетъ видна въ цвѣтѣ искръ. Обыкновенно для составленія фигуры наклеиваютъ на стеклѣ оловянную полоску и даютъ ей желаемую форму; потомъ поперечно разрѣзываютъ ее ножечкомъ; вездѣ, гдѣ такимъ образомъ прерванъ оловянный проводникъ, покажется искра.

О дѣйствіи электричества чрезъ вліяніе.

§ 256.

Если къ кондуктору электрической машины, заряженному положительнымъ электричествомъ, котораго конецъ А представленъ въ фиг. 292, приблизимъ другой, уединенный на стеклянной ножкѣ D кондукторъ ВС, на двухъ концахъ котораго висятъ по 2 бузинныхъ шарика на проводящихъ льняныхъ нитяхъ или проволокахъ, то найдемъ,

что оба бузинные шарика будутъ отталкиваться; слѣдов. въ обоихъ находится свободное электричество. Если стеклянную трубку потремъ такъ, чтобъ она получила + E и приблизимъ ее къ шарикамъ въ B, то она притянетъ ихъ, напротивъ оттолкнетъ висящіе въ C, слѣд. въ B находится свободное — E, а въ C свободное + E. Причину этого легко можно видѣть. Въ кондукторѣ BC находятся естественныя электричества; + E кондуктора A притягиваетъ къ себѣ часть — E, между тѣмъ какъ равная часть + E будетъ оттолкнута; слѣд. — E будетъ скопляться при B, + E при C, до тѣхъ поръ пока взаимное притяженіе ихъ не будетъ въ равновѣсіи съ отдѣляющею силою электричества въ A. Если коснемся пальцемъ къ кондуктору BC, то шарики въ C перестаютъ отталкиваться, а въ B нѣтъ; слѣд. + E уходитъ въ землю, но — E, по причинѣ притяженія + E на A, потеряло эту способность распространяться, или, какъ говорятъ, оно *связано* электричествомъ + E въ A. Если отдалимъ BC отъ A, то шарики въ B и C будутъ расходиться и оба заряжены — E; если потомъ коснемся пальцемъ до BC, то онъ будетъ разряженъ. Итакъ — E при отдаленіи его отъ связующаго + E въ A дѣлается свободнымъ и дѣйствуетъ какъ обыкновенно. Это дѣйствіе на растояніи называется *вліяніемъ*; оно производится какъ чрезъ воздухъ, какъ въ нашемъ опытѣ, такъ и чрезъ всякой другой непроводникъ; черезъ проводники же дѣйствіе измѣняется, потому что въ проводникахъ, лежащихъ между дѣйствующими другъ на друга тѣлами, также происходитъ явленіе вліянія. По этому не надо смѣшивать слѣдующія явленія: *электрическая жидкость* свободно распространяется только чрезъ проводники, но *притягательная* и *отталкивательная силы ея* также хорошо дѣйствуютъ и чрезъ непроводники,

точно также какъ притяженіе желѣза къ магниту оказывается чрезъ всѣ тѣла и только отъ лежащей между магнитомъ и желѣзомъ желѣзной пластинки измѣняется это притяженіе, потому что и пластинка сама дѣлается магнитною.

На дѣйствіи электричества чрезъ вліяніе основываются различные приборы, которые мы разсмотримъ подробнѣе.

§ 237.

Лейденская Банка.

Представимъ себѣ металлическій кругъ AB (фиг. 293) стоящій на стеклянной ножкѣ, на немъ стеклянный кругъ DF бо́льшего діаметра и на послѣднемъ другой металлическій кругъ GK подобный первому. Соединимъ AB съ землею, GK съ кондукторомъ электрической машины и потомъ станемъ вертѣть кругъ ея. Положительное электричество кондуктора распространится на кругъ GK и если бы не было AB, то кондукторъ и кругъ GK наэлектризовывались бы такъ сильно, что наконецъ въ каждое мгновеніе, по причинѣ не совершенной непроводимости воздуха, они теряли бы столько + E, сколько электрическая машина дастъ кондуктору. Предположимъ что это бываетъ тогда, когда на GK скопились 1000 частей + E. Такъ какъ вблизи GK находится кругъ AB сообщенный съ землею, то эти 1000 частей + E разложутъ посредствомъ вліянія естественное электричество въ AB, оттолкнутъ въ землю + E, а притянутъ къ себѣ — E какъ можно ближе къ поверхности стекла и удержатъ его въ связанномъ состояніи. Если бы 1000 частей + E въ GK могли соединиться съ — E въ AB, то онѣ связали бы

1000 частей —E; но такъ какъ онѣ отстоятъ отъ нижняго круга на толщину стекла, то 1000 + E могутъ связать только меньшую часть —E, которая зависитъ отъ разстоянія круговъ. Предположимъ, что при толщинѣ стекла DF онѣ могутъ связать $^9/_{10}$ своего собственнаго количества, слѣд. 900 частей — E въ AB. При связываніи противоположныхъ электричествъ, они связываются взаимно, слѣд. 900 частей — E на AB опять съ своей стороны свяжутъ $^9/_0$ своего собственнаго количества на GK, слѣд. 810 частей. Такимъ образомъ хотя на AB находятся 1000 частей + E, но изъ нихъ 810 связаны, т. е. *не оказываютъ никакого стремленія выйти въ воздухъ*, а только 190 частей оказываютъ это стремленіе. Слѣдовательно кругъ GK еще не будетъ вполнѣ заряженъ, и онъ можетъ изъ кондуктора заимствовать еще 810 частей + E, пока опять на немъ будетъ 1000 частей свободныхъ. Но эти 810 частей опять дѣйствуютъ на AB, какъ прежде дѣйствовали 1000; они связываютъ $^9/_{10}$ своего собственнаго количества на AB, слѣд. 729 и эти 729 свяжутъ $^9/_{10}$ своего количества на GK, слѣд. 656, такъ что изъ прибывшаго электричества останется только 154 свободно, что съ прежними 190 составитъ 344. По этому изъ кондуктора опять выйдетъ въ кругъ GK новое + E, пока на GK не будетъ 1000 частей свободнаго электричества. Тогда по нашему предположенію кругъ GK и кондукторъ, какъ и безъ присутствія AB, будетъ столько получать электричества изъ машины, сколько они теряютъ въ воздухѣ и въ этомъ случаѣ заряженіе бываетъ наибольшее. При нашемъ предположеніи не трудно опредѣлить, какъ велико въ этомъ случаѣ количество электричества вообще на обоихъ кругахъ; въ самомъ дѣлѣ, если означимъ сумму свободнаго и связаннаго положительнаго электричества на

GK черезъ x, то по предъидущему связанное — E на AB будетъ $\frac{9x}{10}$ а связанное этимъ количествомъ + E на GK будетъ $\frac{9}{10} \cdot \frac{9}{10} \cdot x = \frac{81}{100}$ x, слѣд. свободное будетъ $x - \frac{81}{100}x = \frac{19}{100}x$ и такъ какъ это количество должно выразить чрезъ 1000, то

$$\frac{19}{100}x = 1000,$$

изъ чего отбрасывая дроби получимъ $x = 5263$. —

По этому связаннаго — E на нижнемъ кругѣ будетъ $\frac{9}{10} \cdot 5263 = 4737$. И такъ мы имѣемъ:

На кругѣ GK. . . + E	свободнаго. . . .	1000	} Всего 5263
	связаннаго. . . .	4263	
На кругѣ AB. . . — E	связаннаго . . .	4737	

Теперь если прекратить сообщеніе съ землею и коснуться проволокою къ нижнему кругу AB, потомъ другимъ концемъ проволоки къ GK, то противоположныя электричества найдутъ для себя путь къ соединенію и при этомъ произойдетъ сильнѣйшая искра, сопровождаемая значительнымъ трескомъ. Что бы безопаснѣе можно было разрядить этотъ приборъ, употребляютъ такъ называемой *разрядникъ* т. е. двѣ сдѣланныя изъ мѣди проволоки AD и AC (фиг. 294) съ шариками на концахъ, которые посредствомъ шарньера укрѣплены на стеклянной рукояткѣ B и могутъ открываться какъ ножки циркуля. Разрядникъ берутъ за стеклянную рукоятку, приводятъ D въ прикосновеніе съ AB и приближаютъ C къ верхнему кругу GK.

Если для заряженія вышеописаннаго прибора употребляютъ сильную электрическую машину, то кругъ GK можетъ получить значительное количество свободнаго

электричества, прежде нежели онъ столько будетъ терять въ воздухѣ + E, сколько въ каждое мгновеніе получаетъ изъ машины; въ такомъ же отношеніи и связанныя электричества GK и AK дѣлаются сильнѣе, и въ слѣдствіе того и стремленіе верхняго + E и нижняго — E соединиться чрезъ стекло. Такимъ образомъ можетъ случиться, что стекло не въ состояніи сопротивляться этой притягательной силѣ; тогда происходитъ соединеніе ихъ или разряженіе черезъ стекло и оно разбивается при этомъ. Но часто сопротивленіе представляемое стекломъ на поверхности его отъ G чрезъ D до A, не смотря на большее разстояніе по этому направленію, меньше нежели сквозь стекло, потому что поверхность стекла часто немного влажна; тогда приборъ разряжается этимъ путемъ, производя сильную искру и стеклянная пластинка остается невредимою. Заряженіе банки до появленія этой искры называется *переразряженіемъ ея*. Но этого можно избѣжать, если круги GK и AB сдѣлать больше, потому что тогда поверхность, отдающая электричество воздуху, будетъ больше. Очевидно, что тогда и количество связанныхъ электричествъ будетъ больше, но такъ какъ они распространены по большей поверхности, то притяженіе въ одной какой нибудь точкѣ не будетъ довольно сильно, чтобы имъ соединиться чрезъ стекло, но при разряженіи искра получается гораздо больше.

Если же напротивъ электрическая машина весьма слаба, то верхній кругъ скоро зарядится свободнымъ + E до наибольшей степени т. е. воздухъ скоро столько будетъ отнимать электричества, сколько получается изъ электрической машины и слѣд. связываемыя на GK и AB электричества въ томъ же отношеніи будутъ слабѣе. Тогда большій размѣръ круговъ GK и AB ничего не помогаетъ, потому что чѣмъ больше GK, тѣмъ меньше будетъ отъ потери въ воздухѣ напряженіе свободнаго и связаннаго электричества на GK, и слѣд. количество связанныхъ электричествъ не измѣняется; изъ этого слѣдуетъ, что поверхности AB и GK данной величины требуютъ для полнаго заряженія GK соотвѣтствующую электрическую машину. Приборъ нашъ будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше поверхности GK и AB, но всегда только при предположеніи, что при этомъ дѣйствуетъ соотвѣтственная имъ электрическая машина.

Справедливость вышеизложеннаго объясненія взаимнаго связыванія электричествъ на GK и AB весьма разительно доказывается слѣдующимъ образомъ: приборъ заряжается какъ обыкновенно, потомъ сообщеніе съ кондукторомъ и землею прекращается, такъ что весь приборъ остается уединеннымъ. Тогда количество положительнаго электричества на GK будетъ больше количества отрицательнаго на AB; нѣкоторая часть перваго будетъ свободна, а послѣднее все связано, и въ самомъ дѣлѣ, если коснемся до AB, то не получимъ искры, если же коснемся до GK, то получимъ оную. Но отъ этого часть связаннаго прежде — E на AB сдѣлается свободною, потому что количество связывающаго + E на GK уменьшилось, слѣд. если теперь коснемся до AB, то мы должны получить искру; это бываетъ и на самомъ дѣлѣ. Отъ этого опять часть электричества на GK сдѣлается свободною и такимъ образомъ касаясь попеременно сверху, снизу, сверху, снизу и т. д. мы получимъ мелкія искры отъ содержащихся тамъ свободныхъ электричествъ, пока наконецъ оба круга совершенно потеряютъ свое электричество и будутъ разряжены.

Съ какою силою связанныя электричества на объихъ поверхностяхъ стекляннаго круга притягиваются, видно изъ того, что когда приборъ заряженъ и уединенъ, то можно верхній кругъ KG отнять отъ стекла (для этого онъ долженъ имѣть особенную рукоятку), потомъ отнять стеклянный кругъ, взявши его за край при D и тогда найдутъ, что обѣ металлическія пластинки не имѣютъ электричества. Если же положить ихъ опять другъ на друга какъ прежде, то прикасаясь разрядникомъ къ GK и AB получутъ сильную искру какъ прежде. Этимъ доказывается, что оба электричества отъ сильнаго взаимнаго притяженія плотно прилегаютъ къ стеклу, а не къ металлу.

§ 238.

Когда хотятъ употребить большіе круги GK и AB, то приборъ устроенный такъ, какъ прежде показано, бываетъ неудобенъ; для большей удобности вмѣсто налагаемыхъ круговъ, наклеиваютъ на противоположныя стороны стеклянной доски тонкіе оловянные листы; для сбереженія пространства берутъ не плоскую стеклянную доску, но стеклянную банку какъ FACB (фиг. 295), оклеенную внутри листовымъ оловомъ GKL, и такъ же снаружи, какъ показываетъ ACB; пробка F закрываетъ банку, чрезъ нее проходитъ мѣдная проволока ED, имѣющая наверху шарикъ, а внизу цѣпь находящуюся въ прикосновеніи съ внутреннею оловянною поверхностію. Очевидно, что здѣсь обѣ обкладки дѣйствуютъ какъ прежде GK и AB; внутренняя, могущая чрезъ DE сообщаться съ кондукторомъ, соотвѣтствуетъ верхнему кругу GK, внѣшняя, которую можно соединить съ землею держа ее въ рукѣ или ставя на столъ, соотвѣтствуетъ нижнему кругу AB. Разряжаютъ банку, прикладывая одну ножку разрядника ко внѣшней оболочкѣ а другую къ шарику E. При этой формѣ приборъ называется *Лейденскою банкою* или *Клейстовою банкою*; первое название заимствовано отъ мѣста, гдѣ прежде былъ сдѣланъ опытъ, второе отъ самаго изобрѣтателя прибора.

Если имѣютъ сильную электрическую машину, которую, по предъидущему, можно соединить съ большею поверхностію, то соединяютъ много такихъ банокъ, такъ что внѣшнія ихъ оболочки соединяются оловянными полосками, а шарики E металлическими прутами между собою; этимъ всѣ внутреннія оболочки составляютъ какъ бы одну поверхность, а внѣшнія другую. Тогда количество связываемыхъ скопленныхъ электричествъ сильно увеличивается, слѣд. и искра при разряженіи.

Такое соединеніе многихъ Лейденскихъ банокъ какъ бы въ одну большую, называется *электрическою батареею*. Дѣйствія этихъ батарей весьма сильны и состоятъ въ слѣдующемъ: При разряженіи разрядникомъ искра бываетъ весьма яркаго бѣлаго цвѣта и выскакиваетъ съ значительнымъ трескомъ, который при сильной батареи похожъ на выстрѣлъ изъ пистолета.

Если разрядить батарею проволокою, то она нагрѣвается тѣмъ болѣе, чѣмъ она тоньше; если она весьма тонка, то плавится, даже когда она сдѣлана изъ платины. Золото въ весьма тонкомъ видѣ, какъ напр. полоски изъ такъ называемаго листоваго золота, не только плавится, но даже улетучивается. Если при этомъ положить его между двумя листками бумаги, то оно показывается на нихъ въ видѣ фіолетоваго порошка.

Если батарея разряжена чрезъ дерево, то оно расщепляется; колода картъ пробивается насквозь и то въ такомъ на-

правленіи, какъ будто она изъ средины была прострѣлена въ обѣ стороны.

Спиртъ, эѳиръ, порошокъ гарніуса, если насыпать ихъ на хлопчатую бумагу, загорается когда чрезъ нихъ разрѣжается батарея. Порохъ загорается только тогда, когда онъ смѣшанъ съ металлическими опилками; безъ этого онъ только разбрасывается; впрочемъ порохъ можно зажечь также не смѣшивая съ опилками, если разряженіе производится посредствомъ мокрой нити.

Если разрядимъ маленькую лейденскую банку посредствомъ нашего тѣла, касаясь одною рукою до внѣшней оболочки, а другою до шарика, то мы почувствуемъ живое сотрясеніе, замѣтнѣе всего въ рукахъ и въ груди. Если зарядъ силенъ, то ударъ нестерпимъ и сильную батарею нельзя разрядить своимъ тѣломъ безъ вреда для здоровья. Такими разряженіями можно даже убить маленькихъ животныхъ.

§ 239.

Конденсаторъ.

Конденсаторъ собственно есть такой же приборъ, какъ лейденская банка, только цѣль его другая; лейденская банка служитъ для того, чтобы усилить обыкновенное напряженіе электричества въ кондукторѣ электрической машины, а конденсаторъ для усиленія весьма слабыхъ количествъ электричества, которыя безъ него не показываются электроскопомъ. Онъ можетъ употребляться вмѣстѣ съ каждымъ изъ трехъ описанныхъ нами электроскоповъ (§ 223). Если проводникъ, имѣющій значительную поверхность, заряженъ электричествомъ весьма слабымъ и если

онъ будетъ сообщенъ съ шариками электроскопа, то часть электричества перейдетъ въ электроскопъ; но эта часть въ сравненіи со всѣмъ электричествомъ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ поверхность электроскопа будетъ меньше поверхности наэлектризованнаго проводника и легко можетъ быть, что переходящая часть будетъ такъ мала, что соломинки или листочки золота не будутъ расходиться. Если же употребимъ нашъ приборъ (фиг. 293) и соединимъ GK съ электроскопомъ и вмѣстѣ съ проводникомъ, а AB сообщимъ съ землею, то теперь изъ проводника перейдетъ гораздо больше электричества, нежели прежде, потому что большая часть его будетъ связана, точно также какъ изъ кондуктора гораздо больше электричества собирается на кругѣ GK, нежели безъ круга AB. Но электричество въ GK связано и по этому не дѣйствуетъ на электроскопъ. Если же вдругъ отдалимъ AB, то связь прекращается и все скопленное на GK электричество дѣйствуетъ какъ свободное на электроскопъ.

Основываясь на этой теоріи обыкновенно устроиваютъ конденсаторъ слѣдующимъ образомъ (фиг. 296). Совершенно плоскій кругъ GK придѣлывается къ электроскопу FM и потомъ покрывается уединяющимъ смолянымъ лакомъ; одинъ шарикъ C не покрытъ лакомъ и соединенъ посредствомъ проволоки CG съ кругомъ; потомъ на этотъ кругъ кладется совершенно подобный ему AB, который на нижней поверхности также покрытъ лакомъ и снабженъ стеклянною рукояткою D. Когда хотятъ удостовѣриться, имѣетъ ли какой нибудь проводникъ хотя малое количество электричества, тогда касаются проводникомъ къ шарику C, между тѣмъ какъ верхній кругъ AB соединяютъ съ землею, прикладывая къ нему палецъ. Послѣ отнимаютъ проводникъ и палецъ и подымаютъ AB за

рукоятку D. Въ это мгновеніе все электричество на GK, которое прежде связано было отъ — E верхняго круга, сдѣлается свободнымъ и соломинки или листки золота въ электроскопѣ будутъ расходиться

Такъ какъ усиливающее дѣйствіе конденсатора основывается на томъ, что онъ изъ тѣла, которое безъ него передаетъ электроскопу мало электричества, привлекаетъ къ себѣ какъ можно большее количество его, то видно, что его можно употреблять съ большою выгодою для узнанія электричества въ проводникахъ съ большими поверхностями. Если бы мы хотѣли напр. испытать электричество проводника, который самъ не больше электроскопа, то онъ и безъ конденсатора отдалъ бы половину своего электричества, и конденсаторъ произведетъ только то, что изъ другой половины перейдетъ еще часть; слѣд. онъ даже не въ состояніи удвоить дѣйствіе простаго электроскопа. Напротивъ хорошіе конденсаторы при прикосновеніи съ большими, но мало электризованными, поверхностями, даютъ стократное и еще большее увеличиваніе.

§ 210.

Электрофоръ.

Электрофоръ состоитъ изъ металлическаго блюда ABC (фиг. 297), которое сверху покрыто слоемъ смолы D, и изъ металлическаго круга EF, который посредствомъ стеклянной рукоятки можно класть на смоляную поверхность и поднимать отъ ней. Смоляная поверхность электризуется отрицательно посредствомъ тренія шелковою матеріею или еще лучше кошечьимъ мѣхомъ или посредствомъ ударовъ лисьимъ хвостомъ. Если потомъ

на наэлектризованную смоляную плоскость положимъ кругъ EF, то онъ прикоснется къ нѣкоторымъ болѣе выдающимся частицамъ смолы и отниметъ у нихъ электричество, такъ что онъ будетъ лежать на этихъ не электризованныхъ частицахъ, и слѣд. отъ другихъ наэлектризованныхъ будетъ отдаленъ уединяющимъ воздушнымъ слоемъ. Если теперь коснемся къ EF пальцемъ, то — E въ D черезъ вліяніе свяжетъ + E въ кругѣ, а соотвѣтствующее — E оттолкнетъ въ землю; если потомъ отнимемъ палецъ и посредствомъ рукоятки G подымемъ кругъ EF, то это + E сдѣлается свободнымъ и мы изъ круга получимъ искру. Если опять положимъ его на смоляной кругъ, коснемся къ нему пальцемъ и опять поднимемъ, то изъ него какъ прежде получимъ искру, при чемъ электричество въ D отъ этого ни мало не ослабится, потому что всѣ эти положительныя электричества верхняго круга происходили отъ разложенія естественныхъ электричествъ этого круга.

Но кромѣ того приборъ этотъ имѣетъ ту выгоду, что онъ остается заряженнымъ даже въ продолженіи года, потому что при наложеніи верхняго круга на электризованную смоляную поверхность отрицательное электричество смолы и положительное верхняго круга связываются, слѣдие теряются въ воздухѣ. Отъ этого заимствовано названіе *Электрофора*.

Можно употреблять смоляной кругъ Электрофора и для другихъ опытовъ, которые извѣстны подъ именемъ *Лихтенберговыхъ фигуръ*. Лейденскую банку заряжаютъ +E, берутъ ее за внѣшнюю обкладку и шарикомъ внутренней обкладки какъ будто начертываютъ фигуру на смоляномъ кругѣ; тогда на всѣхъ частицахъ, лежащихъ близко отъ фигуры распространяется положительное электричество,

на другихъ же нѣтъ, по причинѣ непроводимости смолы, но электризованныя части дѣйствуютъ на прилежащія посредствомъ вліянія. Если сквозь волосяное сито просѣемъ порошокъ гарпіуса или semen Lycopodii, то этотъ порошокъ, проходя чрезъ сито, будетъ наэлектризованъ отрицательно; по этому онъ притянется и сядетъ на всѣ частицы смолы, имѣющія +E и будетъ оттолкнутъ имѣющими —E. Такимъ образомъ начерченная на смолѣ фигура сдѣлается видимою, и притомъ по обѣимъ сторонамъ ея примѣчаются какъ будто лучи. Если же фигуру описать отрицательнымъ электричествомъ, то она не имѣетъ лучей, но будетъ составлена изъ маленькихъ кучекъ порошка. Въ этихъ двоякаго рода фигурахъ Лихтенберга, въ положительныхъ и отрицательныхъ, заключается существенная разность обоихъ родовъ электричества, между тѣмъ какъ во всѣхъ другихъ обстоятельствахъ можно различить оныя только взаимнымъ дѣйствіемъ другъ на друга. Другой отличительный признакъ состоитъ въ томъ, что если какой нибудь проводникъ заостренный наэлектризовывается въ темнотѣ, то электричество выходитъ изъ острія въ видѣ кисти, если оно положительное, и въ видѣ звѣзды, если оно отрицательное.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

ОБЪ АТМОСФЕРНОМЪ ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ.

§ 211.

Если испаряется вода совершенно чистая, то при этомъ не открывается никакого слѣда электричества; если же вода содержитъ въ растворѣ соляныя частицы или другія постороннія тѣла, то при испареніи сосудъ съ водою электризуется отрицательно, а изъ этого слѣдуетъ, что выходящіе пары должны имѣть свободное положительное электричество. Такъ какъ всѣ воды на земной поверхности содержатъ въ растворѣ соли и землистыя частицы, то изъ этого слѣдуетъ, что всѣ находящіеся въ атмосферѣ пары наэлектризованы положительно. Если на открытомъ воздухѣ ставятъ чувствительный электроскопъ, который снабженъ остроконечіемъ для удобнѣйшаго принятія электричества, то находятъ въ самомъ дѣлѣ, что во время ясной погоды онъ всегда показываетъ +E, которое очевидно есть электричество, поднимающееся вмѣстѣ съ парами. Впрочемъ ясныя показанія этого электричества можно замѣчать только на чистомъ полѣ; воздухъ на улицахъ городовъ или даже въ комнатѣ скоро теряетъ свое электричество при поверхности земли, по причинѣ многихъ находящихся на ней высокихъ предметовъ проводящихъ электричество въ землю. Когда пары сгущаются въ маленькіе шарики, чтобы составить облака, то сіи послѣдніе также принимаютъ это положительное электричество, и

такъ какъ пары при переходѣ въ жидкое состоянiе сильно сгущаются, то и электричество получитъ гораздо большее напряженiе. Такимъ образомъ понятно, отъ чего, если образованiе облаковъ происходитъ мгновенно, напряженiе электричества достигаетъ до такой ужасной силы, какъ это бываетъ во время грозы. — Труднѣе изъяснить, отъ чего электричество облаковъ иногда наблюдается положительное, иногда отрицательное; легче всего къ тому ведетъ дѣйствiе чрезъ влiянiе. Въ самомъ дѣлѣ если облако A, не содержащее никакого электричества, находится вблизи другаго облака B сильно наэлектризованнаго $+E$, то естественное электричество облака A разложится, положительная часть его будетъ оттолкнута, а отрицательная будетъ притянута къ B. Послѣднее находится въ связанномъ состоянiи, первое положительное, въ свободномъ; и такъ оно будетъ выходить мало по малу въ воздухъ, и такимъ образомъ на облакѣ A остается избытокъ $-E$, которое дѣлается свободнымъ, когда A отдаляется отъ B.

Мы узнаемъ свойство электричества какого нибудь облака, когда оно проходитъ надъ электроскопомъ, который снабженъ длиннымъ притягивающимъ прутомъ. Сильное же напряженiе электричества въ облакахъ узнаютъ лучше всего, если пускаютъ бумажный змѣй, въ шнурокъ котораго всучена проволока. Если нижнiй конецъ этого шнурка привяжемъ къ шару, уединенному стекломъ и приблизимъ къ этому шару другой сообщенный съ землею, то, когда надъ летающимъ змѣемъ будетъ проходить облако, увидимъ, что изъ одного шара въ другой выскакиваютъ искры, которыя во время грозы часто имѣютъ въ длину нѣсколько футовъ, и какъ молнiя переходятъ зигзагами и съ сильнымъ трескомъ. Подоб-

ными опытами Франклинъ прежде всѣхъ доказалъ тождество молнiи и электрическихъ искръ, и послѣ его эти опыты повторены были многими. Впрочемъ они опасны, когда приборы устроены не такъ, чтобы наблюдатель могъ далеко находиться отъ обоихъ шариковъ, между которыми выскакиваютъ искры. Въ Петербургѣ физикъ Рихманъ былъ жертвою подобныхъ опытовъ.

§ 242.

Когда облако A сильно заряженное положительнымъ электричествомъ (фиг. 298) приблизится къ предмету MN находящемуся на землѣ, то оно необходимо будетъ оказывать влiянiе на оный, оно притянетъ къ себѣ $-E$, и оттолкнетъ въ землю $+E$. Чѣмъ болѣе приближается облако, тѣмъ болѣе становится количество скопленнаго наверху отрицательнаго электричества, такъ что наконецъ сопротивленiе воздуха не можетъ преодолѣть притяженiя этихъ электричествъ, и они соединяются чрезъ него; тогда происходитъ молнiя. Электричества соединяются тѣмъ путемъ, гдѣ сопротивленiе воздуха есть наименьшее; этотъ путь обыкновенно не есть прямой, но онъ опредѣляется распредѣленiемъ лучше проводящихъ паровъ, такъ что молнiя представляетъ извилистую линiю *зигзага*. Изъ явленiй влiянiя мы знаемъ, что количество $-E$ проводника MN, по причинѣ большаго растоянiя облака оказывающаго влiянiе, гораздо меньше количества $+E$ въ облакѣ, слѣдовательно при соединенiи обоихъ т. е. во время молнiи, необходимое для насыщенiя $+E$ количество отрицательнаго электричества должно мгновенно выйти изъ земли, и этотъ мгновенный притокъ есть то, что представляетъ опасность при ударѣ молнiи.

Но мы видѣли, что когда сильная лейденская батарея

разражается разрядникомъ или какимъ нибудь хорошимъ проводникомъ, то она производитъ только искру; если же она разряжается слишкомъ тонкою проволокою или деревомъ или другимъ какимъ нибудь худымъ проводникомъ, то это вещество разрушается, если же оно горюче, то загорается; итакъ если мы хотимъ сдѣлать безвреднымъ ударъ молніи, то мы должны только сдѣлать такъ, чтобы самый верхній конецъ M, на которой падаетъ молнія, былъ въ непрерывномъ соединеніи съ землею, посредствомъ металлическаго хорошаго проводника. На этомъ основывается устройство *громовыхъ отводовъ*.

§ 243.

Если фигура 299 представляетъ зданіе, на которомъ находятся двѣ дымовыя трубы M и N и если къ нему приближается облако съ +E, то на всѣхъ верхнихъ частяхъ зданія скопится —E отъ вліянія облака, и это будетъ не только въ металлическихъ частяхъ но и въ каменныхъ, напр. въ каменныхъ трубахъ, потому что опыты въ маломъ видѣ показываютъ, что обыкновенный кирпичь довольно хорошо проводитъ электричество при медленномъ дѣйствіи вліянія, какъ бываетъ при приближеніи облака. Напр. внутреннюю обкладку лейденской банки можно зарядить также хорошо, сообщивъ внѣшнюю обкладку съ землею посредствомъ кирпича, какъ и посредствомъ руки. Теперь зависитъ только отъ того, между которымъ мѣстомъ верхнихъ частей зданій и облака сопротивленіе воздуха будетъ наименьшее, тамъ прежде всего послѣдуетъ ударъ; но такъ какъ этого нельзя знать, то должно (по § предъидущему) всѣ верхнія части зданія соединить съ землею хорошими проводниками. Если кровля металлическая

напр. изъ листоваго желѣза или цинка, то нужно только одну часть кровли соединить съ землею, потому что тогда и всѣ другія будутъ соединены съ нею; если же она состоитъ изъ худыхъ проводниковъ, какъ то изъ камня, дерева, соломы, то весь верхній край ея обкладываютъ металлическими листами, напр. свинцовыми или желѣзными, или также вдоль всего верхняго края проводятъ желѣзную полосу и соединяютъ ее металлическимъ шестомъ съ землею. Очевидно, что тоже самое необходимо дѣлать и съ дымопроводными трубами; такъ какъ онѣ на верхнемъ концѣ обыкновенно обкладываются листовымъ желѣзомъ, то эти листы на каждой трубѣ соединяютъ съ проводящимъ шестомъ или другими металлическими частями, которыя уже соединены съ нимъ. Подобнымъ образомъ должно поступать и со всѣми другими частями зданія, выдающимися изъ кровли.

Вмѣсто того чтобы проводить металлическія полосы черезъ всю кровлю и всѣ выдающіяся части ея, ставятъ также на одномъ или на нѣсколькихъ мѣстахъ кровли длинные желѣзные шесты какъ *ab*; верхнимъ концамъ ихъ даютъ видъ остроконечія, основываясь на томъ законѣ, что на остроконечіяхъ электричество, противное электричеству облаковъ, скопляется въ большемъ количествѣ, слѣд. молнія скорѣе упадаетъ на это мѣсто. нежели на какое нибудь другое мѣсто кровли. Но это зависитъ, какъ мы видѣли, не только отъ количества скопляющагося электричества, но также и отъ сопротивленія воздуха между скопившимися электричествами; такъ какъ легко можетъ случиться, что сопротивленіе между какимъ нибудь другимъ мѣстомъ кровли и облакомъ столь будетъ мало, что это сопротивленіе не только уравновѣситъ большое скопленіе электричества на острiѣ,

но и возметъ перевѣсъ надъ нимъ, то по этому молнія можетъ упасть на кровлю. И въ самомъ дѣлѣ есть примѣры тому, что молнія близко отъ такихъ шестовъ упадала на кровлю, а не на нихъ, съ значительнымъ вредомъ для зданія. Впрочемъ основываясь на опытѣ утверждаютъ, что такой остроконечный отводъ предохраняетъ отъ удара около себя кругообразное пространство, котораго радіусъ равенъ двойной длинѣ шеста, и по этому опредѣляютъ высоту и число притягивающихъ шестовъ на зданіи.

Но если шпицеобразные притягивающіе шесты въ отношеніи къ безопасности зданія и не приносятъ той пользы, какую отъ нихъ ожидаютъ, однако они могутъ быть полезны въ другомъ отношеніи, по тому что скопляющееся на нихъ въ большемъ количествѣ электричество соединяется мало по малу безъ удара съ противоположнымъ электричествомъ облаковъ; ибо въ этомъ состоитъ, какъ мы выше видѣли, свойство остроконечій. Такимъ образомъ они уменьшаютъ или по крайнѣй мѣрѣ ослабляютъ удары. Но если зданіе покрыто металлическими листами, то въ немъ находится такъ много острыхъ краевъ, что отъ этого оно вѣроятно не меньше разряжаетъ облако какъ и шпицеобразные притягивающіе шесты; по этому послѣдніе для металлическихъ кровель не приносятъ существенной пользы, но увеличиваютъ только цѣну отводовъ.

Предохранивши такимъ образомъ всѣ верхнія части кровли или притягивающими шестами или еще лучше металлическою обкладкою, требуется еще второе условіе — хорошее соединеніе оныхъ частей съ землею. Если кровля обложена металломъ, то нужно только нижніе концы ея соединить съ землею. Для этого берутъ или мѣдные шесты или мѣдные цѣпи или свинцовыя полосы, обыкновеннѣе же всего желѣзные шесты CF, которые посредствомъ винтовъ и гаекъ свинчиваются вмѣстѣ и идутъ до самой земли. Толщина ихъ должна быть въ разрѣзѣ не менѣе половины квадратнаго дюйма. Они прикрѣпляются къ стѣнѣ желѣзными скобками и нижніе концы ихъ проводятъ въ землю до такой глубины, чтобы эти концы всегда находились въ влажной землѣ, или еще лучше въ рѣку, если она находится вблизи, или въ колодезь, если онъ не высыхаетъ лѣтомъ. Если же этого по близости не имѣется, то проводятъ шестъ въ землю до глубины 2-хъ саженъ и на это мѣсто проводятъ воду, вытекающую изъ кровельныхъ трубъ. Такимъ образомъ конецъ его, обыкновенно раздѣляющійся на три вѣтви, какъ показано въ фигурѣ, находится всегда во влажной землѣ, которая гораздо лучше проводитъ электричество, нежели сухая.

Устроивши такимъ образомъ отводъ, дѣйствіе производимое имъ должно понимать слѣдующимъ образомъ: большая часть земнаго электричества должна мгновенно устремиться въ верхнія части зданія, чтобы насытить совершенно электричество облаковъ. Въ зданіяхъ снабженныхъ отводами это можетъ случиться двоякимъ образомъ, или чрезъ этотъ металлическій проводникъ, или чрезъ самое зданіе. Но доказано, что при быстромъ стремленіи электричество раздѣляется по двумъ путямъ, обратно пропорціонально сопротивленію представляемому ими, такъ что если сопротивленіе одного въ 10 разъ больше сопротивленія другаго, то первымъ путемъ проходитъ $\frac{1}{11}$, а вторымъ $\frac{10}{11}$ всего стремящагося электричества. Такъ какъ сопротивленіе самаго зданія, состоитъ ли оно изъ камня или изъ дерева, въ сравненіи съ сопротивленіемъ металлическихъ отводовъ,

можно считать за безконечно большое, то почти все электричество идетъ черезъ громовой отводъ, а только безконечно малая часть его черезъ самое зданіе. Изъ этого видно что совсемъ не необходимо содержать громовой отводъ въ отдаленіи отъ зданія посредствомъ непроводниковъ, напр. посредствомъ стеклянныхъ частей; электричество въ значительномъ количествѣ никогда не оставитъ хорошаго проводника, что бы пройти черезъ худой.

Громъ, сопровождающій обыкновенно молнію, есть ничто иное какъ трескъ, который замѣчается всегда, когда выскакиваетъ электрическая искра, но только первой сильнѣе во столько разъ, во сколько молнія сильнѣе электрической искры. Но этотъ трескъ только при большой близости молніи, когда напр. она падаетъ на предметъ близко находящійся, рѣзко прекращается, какъ трескъ искры изъ электрической машины, но обыкновенно сопровождается долго повторяющимися раскатами. Эти послѣднія мы слышимъ по причинѣ эхо самаго удара, отражающагося отъ облаковъ и отъ предметовъ находящихся на землѣ. Что громъ слышенъ бываетъ *послѣ* молніи, происходитъ отъ того, что свѣтъ почти въ одно мгновеніе доходитъ до насъ, а звукъ для каждыхъ 1100 футовъ требуетъ одну секунду; точно такимъ же образомъ когда палятъ изъ пушки въ отдаленіи отъ насъ, то мы видимъ вспышку прежде нежели слышимъ ударъ. Если сощитать число секундъ проходящихъ между блескомъ молніи и ударомъ грома, то можно изъ этого опредѣлить разстояніе грозы, помножая число секундъ на 1100 футовъ, какъ мы уже видѣли (§ 127). Если иногда видна бываетъ молнія безъ грома (тогда она называется *зарницею*), то это

вѣроятно происходитъ отъ того, что явленіе находится въ большомъ разстояніи отъ насъ.

ГЛАВА ТРЕТІЯ.

О ГАЛЬВАНИЗМѢ.

§ 244.

Италіанскій Анатомъ Гальвани случайно открылъ въ 1790 году, что мертвая лягушка, приготовленная такъ, что бы кожа была снята съ позвоночнаго хребта и съ заднихъ ногъ, приходитъ въ сильное содраганіе, когда конецъ становой жилы касается къ мѣдной, а одна нога къ цинковой палочкѣ и потомъ оба конца металлическихъ палочекъ приходятъ въ прикосновеніе другъ съ другомъ. Такъ какъ тѣже содраганія производятся и дѣйствіемъ электричества въ приготовленной такимъ образомъ лягушкѣ, то Гальвани заключилъ, что и въ описанномъ нами опытѣ дѣйствующая причина есть электричество. Онъ думалъ, что источникъ его заключается въ организмѣ лягушки, такъ что въ нервахъ становой жилы содержится одно электричество свободное, а въ нервахъ ногъ другое; они могутъ быть разряжены металлическимъ прутомъ и произвести содраганія. Напротивъ соотечественникъ его Вольта предложилъ мнѣніе, что источникъ электричества заключается въ мѣстахъ прикосновеній двухъ металловъ, что видно

изъ того, что сотрясеній или совсемъ не бываетъ или они бываютъ очень слабы, когда металлическая дуга, соединяющая становую жилу съ ногами, состоитъ изъ одного и тогоже металла. Лягушка по мнѣнію Вольты служитъ только весьма чувствительнымъ электроскопомъ. Теперь вездѣ принято мнѣніе Вольты, по крайней мѣрѣ въ томъ отношеніи, что источникъ электричества должно искать не въ самой лягушкѣ, а въ металлахъ. Но нѣкоторые причину его полагаютъ не въ прикосновеніи металловъ, но въ окисленіи цинка, когда онъ прикасается къ влажной поверхности лягушки. Какая бы ни была причина этому, прикосновеніе ли металловъ или окисленіе цинка, возбужденное такимъ образомъ электричество называется *Гальванизмомъ*. Въ слѣдующемъ мы будемъ держаться мнѣнія Вольты.

Вольта первый показалъ, что если 2 металла касаются одинъ другаго, то отъ этого возбуждается электричество, которое можно примѣтить посредствомъ конденсатора. Возмемъ конденсаторъ, котораго круги сдѣланы изъ мѣди и положимъ его на чувствительный электроскопъ, потомъ возмемъ 2 кружка совершенно подобные кружкамъ конденсатора, но только не покрытые лакомъ; каждый изъ нихъ снабженъ стеклянною рукояткою и одинъ ZZ′ сдѣланъ изъ цинка, другой KK′ изъ мѣди (фиг. 300). Возмемъ кружокъ ZZ′ за рукоятку, но такъ что бы самый кружокъ касался руки и слѣд. былъ въ соединеніи съ землею, потомъ возмемъ KK′ за уединяющую рукоятку, коснемся цѣлою поверхностію его ко всей поверхности KK′, поднимемъ его вверхъ и коснемся имъ къ нижнему кружку конденсатора, между тѣмъ какъ верхній кружокъ его сообщенъ съ землею. Потомъ положимъ его опятъ на ZZ′ и нѣсколько разъ сряду, на прим. 10 разъ,

повторимъ поднятіе и прикосновеніе къ конденсатору; если поднимемъ теперь кругъ конденсатора, то соломенки или пластинки золота въ электроскопѣ будутъ расходиться и приближеніе къ электроскопу потертаго сургуча или стекла показываетъ, что въ этомъ случаѣ мы получили $-E$. Если этотъ опытъ повторимъ въ томъ же порядкѣ, съ тѣмъ только различіемъ, что бы мѣдь была въ соединеніи съ землею, а цинкъ былъ поднимаемъ, и если употребимъ конденсаторъ изъ цинка, для того что бы при заряженіи конденсатора цинковой кружокъ не прикасался къ кружку изъ другаго металла, съ которымъ бы онъ также могъ произвести электричество, то получимъ въ электроскопѣ такоеже сильное электричество, только въ этомъ случаѣ оно будетъ $+E$. *) Изъ сихъ опытовъ слѣдуетъ, что при прикосновеніи мѣди съ цинкомъ, цинкъ получаетъ положительное электричество, мѣдь отрицательное и притомъ на поверхности прикосновенія обоихъ металловъ есть сила, которая не позволяетъ электричеству верхняго металла перейти черезъ нижній въ землю, хотя здѣсь находится совершенное соединеніе. И такъ вмѣстѣ съ Вольтою мы разсматриваемъ это явленіе слѣд. образомъ: при прикосновеніи мѣди и цинка естественное равновѣсіе электричествъ въ обоихъ металлахъ нарушается, положительное переходитъ на цинкъ, отрицательное на мѣдь, пока наконецъ взаимное притяженіе раздѣленныхъ противоположныхъ

---

*) Точное изслѣдованіе этого предмета показываетъ, что во второмъ опытѣ можно употребить и прежній конденсаторъ изъ мѣдныхъ кружковъ, но изъясненіе причины этого повело бы насъ слишкомъ далеко.

электричествѣ сдѣлается такъ велико, что оно уравновѣситъ раздѣляющую силу. Эта раздѣляющая сила, о которой мы больше ничего незнаемъ, называется *электровозбудительною силою.* Она имѣетъ мѣсто между всѣми металлами взятыми по два, но во всѣхъ въ различной степени и мы здѣсь, какъ и для электричества отъ тренія, можемъ ставить всѣ металлы въ рядъ, въ которомъ каждый изъ предъидущихъ металловъ въ отношеніи къ послѣдующимъ при прикосновеніи дѣлается электроотрицательнымъ. Для обыкновенныхъ металловъ порядокъ есть слѣдущій:

— Платина, серебро, мѣдь, латунь, желѣзо, олово, цинкъ +.

Электровозбудительная сила между двумя металлами тѣмъ больше, тѣмъ дальше они отстоятъ другъ отъ друга въ этомъ ряду, слѣд. больше для платины и цинка, а слабѣе для олова и цинка. Такъ какъ платина и серебро для употребленія слишкомъ дороги, то обыкновенно для гальваническихъ опытовъ употребляютъ мѣдь и цинкъ, что и мы въ послѣдствіи всегда будемъ предполагать. Кромѣ того Вольта допустилъ, и это послѣ доказано было опытами, что электровозбудительная сила двухъ какихъ нибудь металловъ, равна суммѣ электровозбудительныхъ силъ всѣхъ находящихся между ними въ ряду металловъ. Такъ напр. электровозбудительная сила мѣди и цинка равна суммѣ электровозбудительныхъ силъ мѣди и латуни, латуни и желѣза, желѣза и олова, олова и цинка; изъ этого слѣдуетъ, что когда мѣдный кружокъ лежитъ на цинковомъ, то на цинкѣ получается + E, а на мѣди — E столько, сколько мы получили бы при наложеніи на мѣдный кружокъ латуни, на латунь желѣза, на желѣзо олова, а на олово цинка. Вообще если многія металлическія пластинки лежатъ одна на другой, то внѣшнія по обоимъ концамъ показываютъ совершенно тоже электричество и такой же

силы, какъ будто бы онѣ лежали непосредственно одна на другой.

цинкъ +
мѣдь —

§ 245.

Основываясь на этомъ мнѣніи, Вольта устроилъ приборъ извѣстный подъ именемъ *Вольтова столба*, который описанныя выше простыя явленія показываетъ въ большой степени. Онъ нашелъ изъ опытовъ, что жидкости, именно вода и слабыя кислоты въ прикосновеніи съ металлами не имѣютъ или никакой или имѣютъ весьма незначительную электровозбудительную силу въ сравненіи съ силою, имѣющею мѣсто между металлами, напр. мѣдью и цинкомъ. Онъ назвалъ эти тѣла *проводниками втораго порядка*, и поступилъ при построеніи своего столба слѣд. образомъ. Онъ клалъ мѣдный кружокъ горизонтально на столъ, на него цинковой кружокъ, а на этотъ послѣдній кружокъ сукна или папки смоченный слабою кислотою; на это еще мѣдь, цинкъ и папковой кружокъ и такимъ образомъ все далѣе; фигура 301 показываетъ такой столбъ изъ 4 паръ, гдѣ Z означаетъ цинкъ, K мѣдь и S папковый кружокъ. Если теперь предположимъ, что электровозбудительная сила одной пары цинка и мѣди такъ велика, что еслибы цинкъ былъ въ соединеніи съ землею, то на мѣди скопилось бы количество — 1, между тѣмъ какъ + E цинка уходитъ въ землю, то это значитъ тоже, что электровозбудительная сила такъ велика, что она уравновѣшиваетъ стремленіе электричества — 1 вытти изъ K черезъ цинкъ въ землю. Такъ какъ на первой парѣ лежатъ еще 3 пары, то — 1 мѣди K распространится по всѣмъ наложеннымъ на нее кружкамъ,

по тому что всѣ они суть проводники; но отъ этого количество на самомъ кружкѣ K уменьшится; слѣд. электровозбудительная сила между Z и K возбудитъ въ K новое —E, пока на кружкѣ K опять будетъ —1, потому что только въ этомъ случаѣ электровозбудительная сила уравновѣшиваетъ стремленіе —1 перейти въ землю. Слѣд. если бы дѣйствовала одна только электровозбудительная сила пары ZK, то на цинкѣ Z, по причинѣ соединенія его съ землею, находится 0E, на K и на всѣхъ лежащихъ на немъ кружкахъ —1. Но между K′ и Z′ дѣйствуетъ также электровозбудительная сила, +E уйдетъ внизъ слѣд. въ землю, а —1 вверхъ, пока отъ дѣйствія второй пары не будетъ на K опять —1. Если такимъ же образомъ будемъ разсуждать и при другихъ парахъ Z″ K″ и Z‴ K,‴ изъ которыхъ всѣ нижнія цинковыя пластинки отдаютъ землѣ возбужденное въ нихъ электричество, а всѣ верхнія получаютъ —1, то получимъ слѣдующія дѣйствія:

От электровозбудительной силы паръ:

	ZK	Z′K′	Z″K″	Z‴K‴	сумма всѣхъ
На K....	—1	0	0	0	—1
K′...	—1	—1	0	0	—2
K″...	—1	—1	—1	0	—3
K‴ ..	—1	—1	—1	—1	—4

И такъ если дѣйствіе одной пары кружковъ Z и K лежащихъ одинъ на другомъ состоитъ въ томъ, что K получаетъ количество —1, то сила въ столбѣ состоящемъ изъ 4 паръ, на верхнемъ мѣдномъ кружкѣ будетъ —4, а сила столба изъ 100 паръ на верхнемъ мѣдномъ также —100; слѣд. вообще сила въ парахъ *n* будетъ —*n*. Начиная отъ верхняго конца свободное —E книзу умень-

шается больше и больше, а въ самомъ низу равна 0. Электроскопъ показываетъ это въ самомъ дѣлѣ, если соединить его съ различными мѣстами столба.

Если бы порядокъ металловъ былъ обратный первому, такъ чтобы мѣдь лежала внизу а цинкъ вверху во всѣхъ парахъ, то посредствомъ подобныхъ разсужденій мы нашли бы, что для *n* паръ напряженіе положительнаго электричества на верхнемъ полюсѣ въ *n* разъ сильнѣе, нежели въ каждой парѣ отдѣльно.

Если поставимъ 2 столба, каждый напр. изъ 100 паръ, одинъ подлѣ другаго, но такъ что бы въ одномъ KZ (фиг. 302) мѣдный кругъ каждой пары лежалъ *подъ* цинковымъ, а въ другомъ ZK *надъ* цинковымъ, то столбъ KZ на верхнемъ концѣ будетъ показывать +100, Z′K′ —100, между тѣмъ какъ изъ перваго проводится въ землю столько же —E, сколько изъ втораго +E; слѣд. если концы K и Z′ соединимъ между собою посредствомъ проволоки, то сообщеніе съ землею мы моглибы уничтожить не измѣняя ничего въ явленіи каждаго столба; ибо вмѣсто того, что бы столбъ ZK отдавалъ свое —E землѣ, а столбъ K′Z′ равное ему свое +E также землѣ, теперь оба эти количества соединяются между собою и по этому уничтожаются. Слѣд. Z всегда будетъ имѣть +100, а K′ всегда —100. Очевидно, что вмѣсто того чтобы соединить K и Z′ посредствомъ металла, можно бы было столбъ Z′K′ концемъ Z′ приложить непосредственно къ K; отъ этого мы получили бы столбъ Z′K″ изъ 200 паръ, который на обоихъ концахъ уединенъ. И здѣсь также свободное +E начиная отъ конца Z уменьшается болѣе и болѣе до средины K, гдѣ оно равно 0; далѣе внизъ является —E, которое при K″ также сильно, какъ вверх-

ху $+E$, т. е. $=-100$; слѣд. уединенный Вольтовъ столбъ въ каждой половинѣ своей показываетъ тѣже явленія, которыя замѣчаются въ неуединенномъ столбѣ по всей длинѣ его, и притомъ напряженіе при 200 парахъ на каждомъ концѣ равно только 100, или для n паръ $=\frac{1}{2}.n$, слѣд. вдвое меньше, нежели въ неуединенномъ столбѣ на одномъ верхнемъ концѣ. И эти явленія доказаны также посредствомъ электроскопа; только при этомъ, употребляя конденсаторъ, нужно принимать въ разсужденіе нѣкоторыя обстоятельства, основывающіяся на точной теоріи конденсатора, и о которыхъ здѣсь мы не будемъ упоминать; если же эти обстоятельства берутся во вниманіе, то опыты совершенно бываютъ согласны съ наблюденіями.

§ 246.

Въ предъидущемъ § мы видѣли, какимъ образомъ на верхнемъ концѣ Вольтова столба, находящагося въ сообщеніи съ землею, открывается свободное электричество, котораго напряженіе зависитъ отъ числа паръ, природа же его отъ того, вверху или внизу мѣднаго кружка лежитъ цинковый; въ первомъ случаѣ $+E$, а во второмъ $-E$ свободны. Если изъ верхняго конца извлечемъ электричество прикосновеніемъ, то столбъ тотчасъ получаетъ опять свое электричество; ибо источникъ его, прикосновеніе металловъ, не прекращается. Такимъ образомъ мы имѣемъ приборъ, который безпрерывно показываетъ свободное электричество, и это явленіе продолжалось бы вѣчно, если бы металлическіе кружки, особенно цинковые, въ плоскости прикосновенія съ жидкостію, не измѣнялись скоро отъ химическаго дѣйствія жидкости и не переходили въ окисель и если бы притомъ цинковые кружки не высыхали. Дабы избѣжать этого неудобства Замбони употребилъ другаго рода проводники, а не жидкость, именно сухую бумагу. Онъ обложилъ одну сторону ея фальшивымъ серебромъ (т. е. цинковымъ листомъ), другую фальшивымъ золотомъ (мѣдью), вырѣзалъ изъ этой бумаги кружки и положилъ нѣсколько тысячь оныхъ такъ, что одна сторона каждаго, напримѣръ обложенная мѣдью, обращена была внизъ; въ такомъ случаѣ лежали одинъ на другомъ: мѣдь бумага, цинкъ, мѣдь, бумага, цинкъ и т. д. слѣд. когда нижній конецъ соединенъ былъ съ землею, на верхнемъ концѣ получалось свободное $-E$. Такой сухой столбъ по имени изобрѣтателя называется *Замбоніевымъ столбомъ*. Онъ прежде крѣпко связывается шелковыми нитями, потомъ кладется въ стеклянную трубку, которая снизу снабжается мѣдною ножкою касающеюся нижняго металическаго листа, а верху мѣднымъ шарикомъ, который посредствомъ мѣдной шейки своей касается верхняго металлическаго листа. Если два такихъ столба, изъ которыхъ одинъ имѣетъ вверху цинковый полюсъ, а другой вверху мѣдный, поставимъ на столъ, какъ показано въ фигурѣ 303, то въ A напр. всегда будетъ свободное $+E$, а въ B всегда свободное $-E$, которыя сами по себѣ всегда возобновляются, когда онѣ извлечены бываютъ прикосновеніемъ; если между ними повѣсимъ уединенный маятникъ удобоподвижный, напр. дугу N, прикрѣпленную къ тонкому стеклянному пруту MN, который колеблется около C и приведемъ его въ прикосновеніе съ A, то N получитъ $+E$, будетъ оттолкнутъ и привлеченъ къ B; здѣсь онъ получитъ столько $-E$, что свое $+E$ насыщено будетъ совершенно, и тогда на немъ останется еще свободное $-E$; отъ этого шаръ опять будетъ оттолкнутъ къ A и такимъ образомъ маятникъ будетъ качаться туда и сюда, такъ что

движенiе это можетъ продолжаться цѣлые мѣсяцы и годы. Посему такое устройство называется гальваническимъ *perpetuum mobile*.

Но гораздо полезнѣйшее приложенiе Замбонiевы столбы имѣютъ въ устройствѣ *Боненбергерови электроскопа*, (фиг. 304), о которомъ мы уже упомянули въ § 233 какъ о самомъ чувствительномъ электроскопѣ, но котораго устройство мы только теперь можемъ понять. Цилиндрическiй стеклянный сосудъ MN вверху имѣетъ мѣдную крышку, къ которой привинчены два Замбонiевы столба AC и BD такъ что одинъ AC внизу имѣетъ полюсъ + E, а другой BD внизу полюсъ — E. Оба они соединены верхними концами посредствомъ металлической крышки такъ, что оба вмѣстѣ собственно представляютъ уединенный Вольтовъ столбъ, но котораго дѣйствiе такое же, какое оказываютъ два столба сообщенные съ землею, какъ мы видѣли (§245). На срединѣ въ крышку ввинчена стеклянная труба, сквозь которую проходитъ уединенная такимъ образомъ мѣдная проволока PF. На концѣ ея виситъ полоска вырѣзанная изъ листоваго золота FG; наверху ставятся кружокъ конденсатора KL, для того чтобы увеличить чувствительность прибора. Листъ золота G равно притягивается отъ C и отъ D и слѣд. онъ будетъ оставаться по срединѣ, когда онъ не наэлектризованъ; но какъ скоро сообщимъ ему черезъ кружокъ KL не много электричества и если оно будетъ напр. положительное, то G будетъ притянуто концемъ D и оттолкнуто концемъ C; слѣд. листъ золота будетъ двигаться къ D. Если бы электричество сообщенное G было отрицательное, то движенiе послѣдовало бы къ C. Когда сообщенное электричество довольно сильно, то листъ золота ударяется въ одну или въ другую сторону. Отъ того, что листъ съ

одной стороны притягивается, а съ другой отталкивается въ томъ же направленiи, этотъ электроскопъ превосходитъ всѣ другiе въ чувствительности. Вмѣстѣ съ тѣмъ Боненбергеровъ электроскопъ имѣетъ то преимущество предъ другими, что отъ движенiя листка золота въ ту или другую сторону, тотчасъ можно знать, какое находится въ немъ электричество, положительное или отрицательное. Знаки + на B и — на A показываютъ тотчасъ, что, если движенiе происходитъ къ D, то электроскопу сообщено + E, если же къ C, то въ электроскопѣ заключается — E.

О гальваническихъ цѣпяхъ.

§ 247

Если мѣдную пластинку CK (фиг. 305) и параллельно ей стоящую цинковую AZ соединимъ между собою проволокою ABC, то, какъ мы уже видѣли выше, изъ какого бы металла ни состояла проволока, обѣ пластинки получатъ одинаковое электрическое напряженiе; Z показываетъ + E, а K — E. Если между обѣими пластинками положимъ папку смоченную слабою кислотою, или, еще лучше, если погрузимъ обѣ пластинки въ сосудъ MN' наполненный слабою кислотою, то оба электричества соединяются между собою черезъ жидкость. Если для простоты положимъ, что соединительная проволока состоитъ изъ мѣди, то послѣ соединенiя электричествъ черезъ жидкость электровозбудительная сила въ мѣстѣ прикосновенiя мѣдной проволоки съ цинковою пластинкою при A возбудитъ новое + E на Z и — E на K. Эти электричества опять соединятся черезъ жидкость и такимъ образомъ оба электричества безпрестанно будутъ возбуждаться и опять исчезать и слѣд.

безпрестанно +E будетъ стремиться въ направленіи AZKCB, а — E въ противоположномъ направленіи. Это явленіе называется *гальваническимъ токомъ*, а приборъ простою *гальваническою цѣпью*. Такъ какъ направленіе отрицательнаго электричества противоположно направленію положительнаго, то можно знать направленіе сего послѣдняго, если извѣстно направленіе перваго; по этому для простоты согласились означать только направленіе *положительнаго тока*, тогда само собою разумѣется, что отрицательный токъ имѣетъ направленіе противоположное. Направленіе положительнаго тока на фигурѣ означено стрѣлою. Здѣсь не обращается вниманіе на то, гдѣ собственно происходитъ соединеніе обоихъ электричествъ; ибо если бы напр. онѣ соединялись на цинковой пластинкѣ AZ, то въ проволокѣ собственно будетъ существовать отрицательный токъ, который имѣетъ направленіе противоположное направленію стрѣлы; но изъ опыта извѣстно, что отрицательный токъ во всемъ дѣйствуетъ, какъ положительный, если онъ идетъ въ противоположномъ направленіи; слѣд. для послѣдствій все равно, означимъ ли стрѣлою, какъ въ фигурѣ, направленіе положительнаго тока или обратною стрѣлою направленіе отрицательнаго.

Если двѣ пары изъ цинка и мѣди ZK и Z'K', (фиг. 306), соединимъ между собою мѣдными проволоками AB и A'B', какъ показано въ фигурѣ, и каждую пару погрузимъ въ особенный сосудъ съ жидкостію, то мы получимъ гальваническую цѣпь, составленную изъ двухъ паръ. Въ точкахъ прикосновенія мѣдныхъ проволокъ съ цинкомъ въ B и B' дѣйствуетъ электровозбудительная сила и въ обѣихъ парахъ безпрестанно гонитъ +E черезъ жидкость вправо, а —E влѣво и оба электричества безпрестанно соединяются тамъ, гдѣ они встрѣчаются. Слѣд. положительный токъ описываетъ круговой путь, какъ показываетъ стрѣла и вмѣсто этого пути можно бы было въ какомъ нибудь мѣстѣ представить себѣ отрицательный токъ въ противоположную сторону; отъ этого не измѣнилось бы слѣдствіе.

Вмѣсто двухъ паръ можно употребить 3, 4 и вообще n, въ которыхъ во всѣхъ цинкъ обращенъ въ одну сторону а мѣдь въ другую; тогда получится сложная гальваническая цѣпь. Фиг. 307 представляетъ 5 парную цѣпь гдѣ ZK, Z'K', Z''K'' и проч. суть одинаковымъ образомъ расположенныя мѣдныя и цинковыя пластинки, погруженныя въ сосуды I, II, III и проч. съ жидкостію и соединенныя проволоками ab, $a'b'$, $a''b''$ и проч.; чтобы узнать направленіе тока, нужно только обращать вниманіе на то мѣсто, гдѣ дѣйствуетъ электровозбудительная сила т. е. гдѣ мѣдь и цинкъ касаются другъ другу, слѣд. на b или b' и проч. вездѣ +E будетъ стремиться отъ мѣди къ цинку, слѣд. у насъ вправо; по сему токъ будетъ имѣть направленіе показанное стрѣлою.

§ 248.

Если вмѣсто какой нибудь соединяющей проволоки, напр. $a'b'$, возмемъ другое тѣло, котораго сопротивленіе (стр. 538) не слишкомъ большое, то мы также получимъ токъ, который пройдетъ черезъ тѣло и произведетъ въ немъ весьма замѣчательныя явленія. Что бы понять это лучше, важно напередъ опредѣлить, отъ чего собственно зависитъ *сила тока*. Очевидно она можетъ зависѣть отъ 2 обстоятельствъ, *во-первыхъ* отъ того, съ какимъ напряженіемъ электровозбудительная сила раздѣляетъ электриче-

ства при прикосновении двухъ металловъ, а *во-вторыхъ*, съ какою легкостію токъ проходитъ черезъ тѣло. Въ самомъ дѣлѣ сила тока прямо пропорціональна *суммѣ всѣхъ электровозбудительныхъ силъ* и обратно пропорціональна *суммѣ всѣхъ сопротивленій*; или если силу тока означимъ черезъ K, сумму всѣхъ электровозбудительныхъ силъ черезъ F, сумму всѣхъ сопротивленій черезъ L, то получимъ

$$K = \frac{F}{L}$$

Изъ этого слѣдуетъ, что если мы сохранимъ въ нашей 5 парной цѣпи туже величину пластинокъ, тоже разстояніе ихъ другъ отъ друга, употребимъ вездѣ туже жидкость и совершенно равныя соединительныя проволоки *ab*, *a'b'* и проч., то токъ будетъ также силенъ, какъ и въ одной парѣ; ибо хотя вмѣсто одной электровозбудительной силы мы имѣемъ 5, слѣд. F въ 5 разъ больше, но за то, если сопротивленіе одной пары вмѣстѣ съ проволокою примемъ за 1, то при 5 парахъ сопротивленіе будетъ равно пятикратному сопротивленію L, слѣд. $= 5L$. По этому K въ этомъ случаѣ будетъ $= \frac{5F}{5L} = \frac{F}{L}$ т. е. токъ въ обоихъ случаяхъ будетъ равносиленъ.

Если въ какой нибудь цѣпи вмѣсто одной проволоки *ab* вставимъ другой худшій проводникъ, то отъ этого сумма сопротивленій или L увеличится, слѣд. токъ всегда сдѣлается слабѣе; если это новое введенное сопротивленіе означимъ черезъ l, то токъ сдѣлается слабѣе въ отношеніи $L + l : L$. Если l весьма мало въ сравненіи съ L, то сумма $L + l$ будетъ немного больше L, слѣд. ослабленіе будетъ весьма мало; если напр. $L = 1000$ и $l = 1$ то токъ ослабится въ отношеніи какъ $1001 : 1000$ т. е. только на

$\frac{1}{1001}$; но если бы было $L = 1000$ и l тоже $= 1000$, то токъ сдѣлался бы слабѣе во столько разъ, во сколько 2000 больше 1000, слѣд. вдвое слабѣе.

Если бы $L = 1$ и $l = 1000$, то токъ сдѣлался бы въ 1001 разъ слабѣе слѣд. можетъ быть во все былъ бы незамѣтенъ. По этому нужно стараться всегда брать цѣпь такую, чтобъ сопротивленіе ея въ сравненіи съ сопротивленіемъ того тѣла, черезъ которое хотятъ провести токъ, было какъ можно *больше*, т. е. тѣмъ больше паръ нужно брать для цѣпи, чѣмъ хуже проводникъ, черезъ который хотятъ пропустить токъ. Найдено, что проволоки проводятъ токъ тѣмъ хуже, чѣмъ меньше поперечный разрѣзъ ихъ и чѣмъ они длиннѣе; слѣд. если на мѣсто *ab* взята будетъ проволока очень тонкая и длинная, то нужно употреблять многопарную цѣпь, если хотятъ, чтобъ токъ въ ней былъ силенъ. Но какъ бы много мы въ этомъ случаѣ ни брали паръ, мы не можемъ получить токъ сильнѣе того, который происходитъ и отъ одной пары съ соединительною проволокою *ab*, но при введеніи худаго проводника къ этому maximum мы можемъ только приблизиться, увеличивая болѣе и болѣе число паръ,

Если вмѣсто соединительной проволоки, напр. *ab*, возмемъ другой проводникъ также хорошо пропускающій токъ, то сила тока останется прежняя и тогда, какъ мы видѣли, все равно, употребимъ ли одну пару или 5 или 100 паръ; но можно значительно усилить токъ, увеличивая металлическую поверхность паръ. Опыты показали, что часть сопротивленія L, принадлежащая парамъ и жидкости (слѣд. все L за исключеніемъ сопротивленій соединительныхъ проволокъ), ослабляется въ томъ отношеніи, въ какомъ увеличивается поверхность паръ и лежащаго между

ними слоя жидкости. Но такъ какъ это сопротивленіе гораздо значительнѣе сопротивленія соединительныхъ проволокъ, обыкновенно довольно толстыхъ, то самая большая часть сопротивленія L (можно принять, что все L) уменьшается пропорціонально увеличиванію поверхностей. Если напр. предположимъ, что L состоитъ изъ сопротивленія паръ равнаго 1000 и сопротивленія соединительныхъ проволокъ равнаго 1 такъ, что слѣд. L = 1001, то при удвоеніи поверхности паръ сумма эта сдѣлается 501, слѣд. почти вдвое меньше и потому токъ сдѣлается вдвое сильнѣе; изъ сего видно, что если токъ долженъ проходить черезъ хорошіе проводники, то онъ почти не усиливается отъ увеличиванія числа паръ, но весьма усиливается отъ увеличиванія поверхности паръ. Такимъ образомъ мы нашли два главные закона для гальванической цѣпи:

1) Когда хотятъ дѣйствовать сильнымъ токомъ на весьма *худой проводникъ* и хотятъ провести его черезъ это тѣло, то выгодно бываетъ какъ можно больше увеличивать *число паръ*. Увеличиваніе же поверхности паръ помогаетъ мало, потому что отъ этого уменьшается только сопротивленіе самыхъ паръ, которое въ этомъ случаѣ составляетъ малѣйшую часть всего сопротивленія.

2) Когда дѣйствуютъ на весьма *хорошій проводникъ*, то увеличиваніе числа паръ мало помогаетъ, но токъ весьма усиливается отъ увеличиванія *поверхности паръ*.

Изъ этого слѣдуетъ, что для среднихъ проводниковъ равно хорошо увеличивать какъ поверхность паръ, такъ и число ихъ. Разсмотрѣвши это мы теперь покажемъ устройство цѣпи, при которомъ она производитъ свои дѣйствія лучшимъ образомъ.

§ 219.

Самая простая цѣпь употребляется въ видѣ одной пары, какъ показываетъ фиг. 308 въ разрѣзѣ. ABC есть мѣдная пластинка, FG амальгамированная цинковая, которая съ обѣихъ сторонъ окружена мѣдью, и деревянными клинышками $m''m''m''$ поддерживается такъ, что цинкъ нигдѣ не касается мѣди, отстоя отъ нея на $1^1/_2$ линіи. На верхнихъ краяхъ мѣди и цинка ввинчиваются мѣдныя чашечки F и D, въ которыхъ находится нѣсколько ртути. Весь приборъ погружается въ четыреугольный сосудъ MNO съ слабою кислотою. Если соединимъ цинкъ и мѣдь мѣдною проволокою, погружаемою въ ртуть чашекъ F и G, то получимъ простую замкнутую цѣпь. Электровозбудительная сила дѣйствуетъ при F, гонитъ + E къ цинку, а отсюда черезъ жидкость къ мѣди, между тѣмъ какъ — E черезъ мѣдь и жидкость идетъ въ направленіи противоположномъ. Слѣд. направленіе положительнаго тока показывается въ проволокѣ стрѣлою. Простую пару, въ которой цинкъ окружается мѣдью съ двухъ сторонъ, называютъ *Волластоновымъ элементомъ*, по имени изобрѣтателя Волластона. Для полученія сложныхъ гальваническихъ цѣпей обыкновенно соединяютъ много такихъ Волластоновыхъ элементовъ подобнымъ образомъ, какъ въ фигурѣ 307 соединены 5 паръ; для сего обыкновенно раздѣляютъ четыреугольное деревянное или лучше фаянсовое корыто перегородками на отдѣленія, находящіяся такимъ образомъ одно подлѣ другаго, но уединенныя посредствомъ непроводниковъ; въ каждомъ отдѣленіи находится растворенная водою кислота, и въ каждое погружается Волластоновъ элементъ. Если соединимъ въ этихъ элементахъ цинкъ первой пары съ мѣдью второй,

цинкъ второй пары съ мѣдью третьей и т. д., то получимъ сложную цѣпь подобную изображенной въ фигурѣ 307, только число паръ въ такихъ приборахъ обыкновенно больше 5. Но мы можемъ также всѣ цинки и всѣ мѣди соединить между собою, тогда получимъ простую цѣпь, которой поверхность въ 12 разъ больше; по прежде сказанному эту цѣпь особенно хорошо употреблять тогда, когда мы хотимъ провести токъ чрезъ хорошій проводникъ.

Всѣ эти цѣпи, называемыя по своимъ элементамъ, Волластоновыми, имѣютъ ту невыгоду, что онѣ короткое время только дѣйствуютъ съ полною силою, но спустя полчаса онѣ теряютъ болѣе половины своей силы.

Въ новѣйшее время найдено, что этотъ недостатокъ можно уничтожить, если употребить для составленія цѣпи жидкости двоякаго рода, которыя отдѣляются одна отъ другой какимъ нибудь скважистымъ веществомъ, напр. пузыремъ животныхъ или лучше немуравленою глиняною перегородкою, и которыя такимъ образомъ смѣшиваются весьма медленно. Одна изъ сихъ жидкостей есть насыщенный растворъ мѣднаго купороса, другая растворъ сѣрной кислоты; въ первую погружается мѣдь, во вторую цинкъ. Такой элементъ представленъ въ фигурѣ 309. KLL'K' представляетъ мѣдный цилиндрическій сосудъ, въ который входитъ второй меньшій сосудъ BDD'B' изъ слабо обожженной не муравленной глины, такъ что между стѣнками обоихъ сосудовъ остается узкое кольцеобразное пространство толщиною около 1 линіи, въ которое наливается растворъ мѣднаго купороса. Въ глиняный сосудъ ставится амальгамированный цинковой цилиндръ ZEE'Z', такъ что между нимъ и глинянымъ сосудомъ также остается кольцеобразное пространство толщиною въ 1 линію. Отъ цинка идетъ

изогнутая проволока Z'FA въ сосудъ A содержащій ртуть и подобная проволока K'C идетъ отъ мѣди въ сосудъ C со ртутью. Когда C соединяется съ A какимъ нибудь проводникомъ, то цѣпь замыкается. Если нужно употребить сложную цѣпь, то нѣсколько такихъ простыхъ цѣпей соединяются вмѣстѣ посредствомъ своихъ сосудовъ со ртутью, такъ мы видѣли это прежде въ Волластоновой цѣпи. Такія цѣпи дѣйствуютъ постоянно въ продолженіи многихъ часовъ сряду, особенно когда употребляютъ ихъ такъ, чтобы отъ времени до времени можно было возобновлять мѣдный купоросъ въ пространствѣ между KLL'K' и BDD'B'; по этому сіи цѣпи имѣютъ большое преимущество предъ обыкновенными Волластоновыми цѣпями.

§ 250.

Явленія нагрѣванія посредствомъ тока.

Когда проводятъ токъ гальванической через какую нибудь проволоку, то она нагрѣвается и если токъ имѣетъ одну и туже силу, то тѣмъ больше, чѣмъ тоньше проволока и чѣмъ хуже она проводитъ электричество; теперь такъ какъ способности проводить электричество въ самыхъ употребительныхъ металлахъ слѣдуютъ одна за другою въ порядкѣ: серебро, мѣдь, латунь, желѣзо, платина, гдѣ серебро проводитъ больше всѣхъ а платина меньше, то для явленія нагрѣванія обыкновенно употребляютъ желѣзныя и платиновыя проволоки. Если провлока не слишкомъ толста, то нагрѣваніе можетъ дойти до краснокаленія, бѣлокаленія, плавленія и горѣнія. Желѣзныя и стальныя проволоки горятъ лучше всего, разбрасывая въ стороны яркія искры, платина труднѣе, по причинѣ малаго хими-

ческаго сродства съ кислородомъ, но она скоро дѣлается бѣлокаленою; мѣдная проволока должна быть очень тонка для того, чтобы могла горѣть. Такъ какъ явленія каленія всегда производятся посредствомъ проволокъ, слѣд. посредствомъ хорошихъ проводниковъ, то по предъидущему параграфу мы должны стараться объ увеличеніи поверхности паръ, а не объ увеличеніи числа ихъ, для того чтобъ получить сильное дѣйствіе. Только когда должно накалить длинныя тонкія проволоки, представляющія большое сопротивленіе въ цѣпи, большее число паръ также имѣетъ вліяніе. По этому для опытовъ каленія особенно удобно употреблять Волластоновъ столбъ или еще лучше постоянный столбъ съ большими парами. Каленіе особенно блистательно кажется тогда, когда цѣпь замыкается двумя кусками угля заостренными. Если токъ цѣпи силенъ, то концы углей накаливаются добѣла и даютъ такой яркой свѣтъ, что онъ какъ солнечной нестерпимъ для глазъ. При этомъ острія углей быстро горятъ на воздухѣ, образуя съ кислородомъ его углекислоту. Когда острія углей ставятъ въ безвоздушное пространство, и потомъ пропускаютъ черезъ ихъ токъ, то они накаливаются безъ горѣнія. Если посыпать пороху на острія углей, то порохъ загорается при накаливаніи углей. Этимъ воспользовались для зажиганія минъ посредствомъ гальванической цѣпи, соединяя цѣпь посредствомъ длинной проволоки съ миною. Сей способъ имѣетъ ту выгоду, что воспламененіе происходитъ въ требуемое мгновеніе.

Явленія искры. Когда соединительныя проволоки замкнутой цѣпи отнимемъ прочь или когда послѣ долгаго несоединенія замкнемъ опять цѣпь, то на томъ мѣстѣ, гдѣ токъ прежде всего прерывается, мы замѣтимъ искру. Яркость и цвѣтъ ея зависитъ отъ металловъ, которые отдѣляются или которые соединяются. Мѣдь съ мѣдью даетъ красноватую искру; если же наамальгамируемъ мѣдныя поверхности раздѣляемыя, то искра будетъ гораздо блистательнѣе и совершенно бѣлая. Этимъ уже доказывается, что въ искрѣ дѣйствуютъ частицы металла и въ самомъ дѣлѣ съ вѣроятностію доказано, что искра есть также процессъ накаливанія; именно когда одна поверхность металлическая отдѣляется отъ другой или приближается до прикосновенія, то это отдѣленіе или прикосновеніе происходитъ въ одной точкѣ отдѣляющихся или прикасающихся поверхностей послѣ или прежде другихъ и слѣд. есть такое мгновеніе, въ которое и черезъ эту послѣднюю точку отдѣленія или первую прикосновенія проходитъ весь токъ и нагрѣваетъ здѣсь металлъ до каленія и горѣнія; при отдаленіи обѣихъ проволокъ амалгамированныхъ и покрытыхъ каплею ртути, сей послѣдній металлъ вытягивается въ тонкую нить, которая находится въ самомъ благопріятномъ для горѣнія обстоятельствѣ; отъ этого происходитъ яркая бѣлая искра. Если искра состоитъ въ горѣніи металлическихъ частей, то она требуетъ цѣпь съ большою поверхностію и не многими парами и должна быть тѣмъ сильнѣе, чѣмъ лучше проводимость соединительныхъ проволокъ, потому что тогда сопротивленіе L цѣпи будемъ меньше; это и въ самомъ дѣлѣ имѣетъ мѣсто въ искрѣ происходящей при заключеніи цѣпи; но напротивъ искра при открытіи цѣпи является сильнѣе тогда, когда употребляютъ для закрытія длинную проволоку нежели когда короткую, хотя самый токъ въ первомъ случаѣ бываетъ слабѣе по причинѣ худой проводимости длинной проволоки. Найдено, что искра при открытіи цѣпи будетъ сильнѣе, когда длинную соединительную проволоку наматываютъ на цилиндръ въ видѣ спирали, а еще сильнѣе когда цилиндръ будетъ желѣзный.

Причина этого состоитъ въ томъ, что когда при открытіи цѣпи токъ въ длинной проволокѣ прекращается, то въ ней, особенно когда она окружаетъ желѣзный цилиндръ, возбуждается мгновенный гальванической токъ особеннаго рода и отъ этого то искра является столь яркою.

§ 251.

О Химическихъ дѣйствіяхъ Гальванической цѣпи.

Если вмѣсто соединительной проволоки употребить приборъ показанный въ фиг. 310, состоящій изъ стекляннаго сосуда ABCD, сквозь дно котораго проведены двѣ изогнутыя платиновыя проволоки *mno* и *m'n'o'*, которыхъ концы *o* и *o'* соединяются съ цѣпью и если потомъ нальемъ въ сосудъ воды разведенной кислотою, то токъ долженъ пройти чрезъ *onm*, потомъ черезъ воду къ *m'* и наконецъ черезъ *m'n'o'* итти далѣе въ другія части цѣпи; въ этомъ случаѣ замѣчается множество пузырьковъ поднимающихся съ обѣихъ платиновыхъ проволокъ находящихся въ жидкости. Если надъ проволоками опрокинемъ маленькій колоколъ FGK съ жидкостію, то можемъ собрать поднимающіеся газообразные пузырьки и найдемъ, что они составляютъ такъ называемый гремучій воздухъ т. е. состоятъ по объему изъ двухъ частей водорода и одной кислорода. Если устроенъ приборъ такъ (фиг. 311), чтобы каждая проволока отдѣльно была покрыта особеннымъ колоколомъ, то получимъ отдѣльно пузырьки поднимающіеся изъ каждой проволоки и найдемъ, что съ одной проволоки поднимаются только пузырьки водорода, съ другой пузырьки кислорода, перваго два объема, другаго одинъ объемъ; и такъ вода разлагается токомъ на свои составныя части и при томъ, когда по-

ложительный токъ идетъ въ направленіи стрѣлки, то на *m* освобождается кислородъ на *m'* водородъ; кислородъ освобождается на платиновой проволокѣ, изъ которой токъ входитъ въ жидкость, а водородъ въ которую токъ входитъ изъ воды. Не принимая въ разсужденіе всей цѣпи, но только одинъ приборъ нашъ, мы могли бы назвать *m* положительнымъ полюсомъ, потому что изъ него +E входитъ въ жидкость, а *m'* отрицательнымъ полюсомъ, потому что отсюда выходитъ —E, и тогда мы можемъ сказать: *кислородъ является на положительномъ полюсѣ, а водородъ на отрицательномъ.*

Если вмѣсто платиновыхъ проволокъ *m* и *m'* возмемъ проволоку изъ другаго металла легко окисляемаго, напр. изъ мѣди, то на отрицательномъ полюсѣ, какъ и при платиновыхъ проволокахъ, освобождается водородъ, но на положительномъ кислородъ соединяется съ мѣдью, чтобы составить мѣдную окись, и здѣсь пузырьковъ не будетъ видно.

Такъ какъ приборъ для разложенія воды принадлежитъ къ проводникамъ средняго разряда, то по § 248 для разложенія воды равно выгодно въ цѣпи увеличивать какъ поверхность паръ, такъ и число ихъ.

Гальваническій токъ можетъ разлагать и другія химическія соединенія также какъ воду; тогда одна составная часть соединенія отдѣляется на томъ концѣ, гдѣ токъ входитъ, а другая на томъ, изъ котораго онъ выходитъ. Посредствомъ тока Деви (Davy) первый разложилъ такъ называемыя щелочи на кислородъ и металлъ, между тѣмъ какъ онѣ прежде считаемы были за тѣла простыя.

Тоже самое явленіе, которое мы видѣли между платиновыми проволоками *m* и *m'*, замѣчается и между двумя

пластинками самой цѣпи, напр. въ каждомъ ящикѣ Волластоновой цѣпи; ибо въ самомъ дѣлѣ каждый изъ такихъ ящиковъ можно считать за приборъ разложенія жидкости для другихъ частей цѣпи, потому что и здѣсь положительный токъ изъ цинка черезъ жидкость переходитъ въ мѣдь, слѣд. на цинкѣ можетъ освобождаться кислородъ а на мѣди водородъ. Но подобно тому, какъ въ приборѣ разложенія при употребленіи мѣдныхъ проволокъ, кислородъ не освобождается въ видѣ пузырьковъ, но тотчасъ соединяется съ мѣдью въ мѣдную окись, такъ и на цинковой пластинкѣ каждаго ящика кислородъ не освобождается въ видѣ газа, но тотчасъ соединяется съ цинкомъ въ цинковую окись, которая потомъ растворяется въ кислотѣ; на мѣди же въ самомъ дѣлѣ является водородъ въ видѣ пузырьковъ, которые поднимаются безпрестанно съ этой пластинки. Такимъ образомъ видно, какъ мало по малу слабая кислота въ гальванической цѣпи должна насытиться цинковою окисью, что бываетъ въ самомъ дѣлѣ. Найдено, что дабы предохранить цинкъ какъ можно больше отъ порчи, должно его амальгамировать ртутью, и по этому почти вездѣ болѣе не употребляютъ обыкновенныхъ цинковыхъ пластинокъ, но амальгамированныя. — Въ постоянныхъ цѣпяхъ, о которыхъ мы выше говорили, на мѣди осаждается новая металлическая мѣдь изъ мѣднаго купороса, а цинкъ растворяется въ сѣрной кислотѣ, слѣд. въ нихъ не является никакой газъ.

§ 252.

О дѣйствіи тока на организмъ

Если въ цѣпь вмѣсто соединительныхъ проволокъ поставимъ тѣло свое, взявши въ обѣ руки металлическіе цилиндры и погрузивъ ихъ въ сосуды со ртутью, которые въ

соединеніи съ цинкомъ и съ мѣдью одной пары цѣпи, такъ чтобы токъ пробѣжалъ черезъ тѣло, проходя черезъ одну руку въ плечо, грудь, другое плечо и опять въ другую руку, то мы ощутимъ сотрясеніе нервовъ особенно въ рукахъ и плечахъ. Но такъ какъ тѣло человѣческое есть весьма худой проводникъ въ сравненіи съ металлическою проволокою и даже въ сравненіи съ жидкостію ящиковъ, то въ этомъ опытѣ, по прежнему закону, требуется весьма многопарная цѣпь, напр. 100 парная; здѣсь особенно хорошо служитъ Вольтовъ столбъ, къ полюсамъ котораго касаются руками. При этомъ поверхность паръ можетъ быть мала напр. величиною въ пятакъ. Но не смотря на многія пары сопротивленіе тѣла всегда такъ сильно, что самый токъ будетъ весьма слабъ; и такъ какъ болѣзненное ощущеніе въ нервахъ бываютъ при всемъ томъ очень сильно, то изъ этого необходимо слѣдуетъ, что нервы суть весьма чувствительный Гальваноскопъ. Эта чувствительность продолжается даже и послѣ смерти нѣсколько времени и по этому для гальваническихъ опытовъ прежде почти всеобще употребляли недавно убитую лягушку, и еще теперь она употребляется иногда для этой цѣли. Итакъ мы должны всегда помнить, что когда мы употребляемъ для сотрясенія нервовъ многопарный столбъ, то это дѣлается не потому, что наши нервы нечувствительны, но потому что токъ весьма ослабляется нашимъ тѣломъ. Особенно сопротивленіе тѣла увеличивается сухою кожицею нашихъ рукъ, которая почти не проводитъ электричества; по сему дѣйствіе весьма усиливается, когда цилиндръ, соединяющій руки съ цѣпью, берется намоченными руками. Что и въ человѣкѣ чувствительность нервовъ къ току продолжается долго, даже послѣ смерти, найдено посредствомъ опытовъ надъ трупомъ недавно у-

мершаго человѣка; когда пропускали сильный токъ через различныя части трупа, то онъ сгибалъ ноги или сжималъ кулаки, или грудь у него то поднималась, то опускалась, какъ будто онъ дышалъ; на лицѣ являлся ужаснѣйшій судорожный смѣхъ.

§ 253.

О дѣйствіи токовъ на магнитную стрѣлку или объ Электро-магнетизмъ.

Въ 1820 году Эрштедъ въ Копенгагенѣ открылъ, что гальваническій токъ при приближеніи къ магнитной стрѣлкѣ, сильно дѣйствуетъ на отклоненіе ея. Если въ какомъ нибудь мѣстѣ гальванической цѣпи вмѣсто обыкновенной соединительной проволоки употребимъ длиннѣйшую натянутую въ направленіи магнитной стрѣлки, слѣд. отъ сѣвера къ югу какъ AB (фиг. 312), такъ чтобы конецъ A былъ обращенъ къ сѣверу, а B къ югу и если *надъ* этою проволокою повѣсимъ магнитную стрѣлку *ns*, которая слѣд. безъ тока паралельна проволокѣ, то сѣверный полюсъ мгновенно отклонится къ востоку, какъ скоро токъ пройдетъ отъ B къ A, какъ показано стрѣлкою; напротивъ отклоненіе бываетъ къ западу, когда токъ идетъ отъ A къ B.

Если же стрѣлка находится *подъ* проволокою, какъ въ фиг. 313, то отклоненіе бываетъ къ западу, когда токъ имѣетъ направленіе стрѣлы, и къ востоку, когда онъ будетъ имѣть противное направленіе.

Итакъ отклоненія бываютъ противоположны, 1) когда направленія токовъ бываетъ обратныя и 2) если положе-

ніе магнитной стрѣлки въ отношеніи къ положенію проволоки будетъ противоположно.

Если проволока AB будетъ имѣть вертикальное положеніе передъ сѣвернымъ полюсомъ стрѣлки, и мы пропускаемъ черезъ проволоку токъ *снизу вверхъ* (фиг. 314), какъ показываетъ стрѣлка, то *n* отклоняется къ востоку, когда же токъ идетъ *сверху внизъ*, то отклоненіе бываетъ къ западу.

Наконецъ если вертикальная проволока находится передъ *южнымъ* полюсомъ (фиг. 315) и токъ проходитъ, какъ показано стрѣлою, то отклоненіе бываетъ къ западу; когда же токъ идетъ *сверху внизъ*, то къ востоку. — Итакъ и при вертикальномъ положеніи, измѣняется направленіе отклоненія 1) когда токъ въ проволокѣ превращается или 2) когда положеніе проволоки бываетъ противоположно. Слѣд. всегда отклоненіе происходитъ въ томъ же направленіи, если вмѣстѣ и положеніе проволоки и направленіе тока превращается.

§ 254.

Если загнемъ проволоку какъ ACDE (фиг. 316), поставимъ плоскость этой фигуры вертикально и въ направленіи магнитной стрѣлки и по срединѣ ея повѣсимъ сію послѣднюю *ns*, то, когда токъ будетъ проходить черезъ проволоку въ направленіи стрѣлы, слѣд. въ направленіи ACDEB, часть тока AC, равно и CD, также GE и EB отклонятъ магнитную стрѣлку въ одномъ и томъ же направленіи именно *къ западу*, какъ легко можно удостовѣриться въ этомъ, опредѣляя по вышеизложеннымъ законамъ въ каждой изъ 4 частей проволоки направленіе отклоненія магнитной стрѣлки для горизонтальныхъ и вертикальныхъ токовъ. Ес-

либы токъ обратно шелъ черезъ изгибы проволоки по направленію BEDCA, то всѣ 4 части изгиба отклонили бы стрѣлку въ другую сторону т. е. къ *востоку*. Вмѣсто одного изгиба проволоки можно бы было провести много изгибовъ одинъ подлѣ другаго; только тогда надобно сдѣлать такъ, чтобы токъ не проходилъ изъ одного изгиба въ другой со стороны, но по длинѣ всей проволоки пробѣгалъ одинъ изгибъ за другимъ. Этого достигаютъ окружая проволоки худымъ проводникомъ, напр. обматывая ихъ шелкомъ. Тогда каждый изгибъ отклонитъ стрѣлку въ одну и туже сторону, слѣд. отклоняющая сила будетъ увеличена большимъ числомъ изгибовъ. Такой приборъ называется *мультипликаторомъ*; онъ изобрѣтенъ Швейгеромъ и служитъ къ тому, чтобы, вводя его въ цѣпь, открыть существованіе даже весьма слабыхъ токовъ.

Когда мультипликаторъ отклоняетъ стрѣлку, положимъ къ западу, то сія стрѣлка придетъ въ положеніе покоя тогда, когда отклоняющая сила тока, старающаяся обратить сѣверный полюсъ прямо къ западу, придетъ въ равновѣсіе съ магнитною силою земли, направляющею стрѣлку отъ юга къ сѣверу. Чѣмъ сильнѣе токъ, тѣмъ больше приближается стрѣлка къ положенію отъ востока къ западу, и такимъ образомъ большее отклоненіе дастъ намъ мѣру большаго или меньшаго напряженія тока. Но очевидно, что отклоненіе стрѣлки можно увеличить не измѣняя тока, если ослабить направляющую силу земнаго магнетизма противудѣйствующаго отклоненію. Это дѣлается такъ, что въ стрѣлку *ns* (фиг. 317) вкалываютъ мѣдную проволоку *pm*, на другомъ концѣ которой утверждается совершенно равная первой стрѣлка *n's'*, но только полюсы сей послѣдней имѣютъ направленіе совершенно противоположное. Проволока *pm* привѣшивается на шелковинкѣ F*p*. Такъ какъ стрѣлки *ns* и *n's'* могутъ обращаться только съ проволокою *pm* вмѣстѣ, то, прежде нежели токъ пройдетъ черезъ проволоки, вліяніе земнаго магнетизма на одну будетъ противодѣйствовать вліянію его на другую въ отношеніи къ обращенію всей системы, и если стрѣлки имѣютъ одинаковую силу магнетизма, то система болѣе не можетъ быть подвержена земному магнетизму, но можетъ притти въ спокойное состояніе въ какомъ угодно положеніи. Если напр. вся система такъ установлена, что она направлена съ востока на западъ и именно *n* обращенъ къ западу и *s* къ востоку, то магнетизмъ земли будетъ стараться обратить стрѣлку *ns* сѣвернымъ полюсомъ ея отъ запада къ сѣверу; но стрѣлка *n's'* въ допущенномъ положеніи системы имѣетъ съ востока на западъ противоположное положеніе, такъ что *n'* обращенъ къ востоку; по этому стрѣлка *n's'* отъ дѣйствія земной силы будетъ стараться обращаться такъ, что ея *n'* будетъ подвигаться отъ востока къ сѣверу, отъ чего вся система должна совершить движеніе совершенно противоположное первому обращенію. Если обѣ эти противоположныя силы равны, то стрѣлка не будетъ имѣть никакого движенія. Тоже самое оказывается и въ другомъ какомъ угодно положеніи стрѣлокъ. Такую систему магнитныхъ стрѣлокъ, которая, хотя имѣетъ въ себѣ магнитную силу, однако не подвержена вліянію направляющей силы земли, называютъ *астатическою системою* или *астатическою стрѣлкою*. — Если въ ней одна стрѣлка сильнѣе другой, то она опредѣляетъ направляющую силу, которая будетъ равна только разности направляющихъ силъ въ обѣихъ стрѣлкахъ; слѣд. во всей системѣ направляющая сила будетъ весьма мала. Это видно изъ того, что колебанія совершаемыя

системою прежде, нежели она придетъ въ магнитный меридіанъ, весьма медлены.

Если теперь пропустимъ токъ черезъ изгибы ACDEB, то хотя онъ окажетъ на верхнюю стрѣлку дѣйствіе противоположное оказываемому на нижнюю, однако такъ какъ и положеніе полюсовъ въ этой послѣдней противоположно положенію полюсовъ въ первой, то направленіе обращенія верхней стрѣлки будетъ равно направленію движенія нижней. Слѣд. токъ будетъ отклонять обѣ стрѣлки всегда въ одну и туже сторону и очевидно сильнѣе, нежели каждую изъ нихъ особенно, потому что теперь дѣйствіе силы земли на нихъ очень слабо; по этому и слабый токъ произведетъ весьма сильное отклоненіе, и такой мультипликаторъ гораздо чувствительнѣе Швейгерова. Онъ прежде устроенъ былъ Нобили, и по этому называется Нобиліевымъ мультипликаторомъ.

И такъ мультипликаторъ имѣетъ видъ показанный въ фиг. 318. Изгибы намотаны на деревянную рамку. Магнитная стрѣлка или, если употребляется Нобиліевъ мультипликаторъ, система стрѣлокъ привѣшивается на шелковинкѣ такъ, что мѣдная проволока, на которую насажены стрѣлки, выходитъ въ отверстіе сдѣланное въ верхнемъ ряду изгибовъ отодвинутыхъ немного въ сторону. На проволокѣ *pm* (фиг. 317) выше второй стрѣлки еще укрѣпленъ мѣдный показатель, который обращается вмѣстѣ съ стрѣлками и на дѣленіи, находящемся подъ концемъ его, показываетъ мѣру угла отклоненія. Какъ скоро концы проволокъ A и B введены будутъ въ цѣпь, стрѣлка мгновенно отклоняется въ одну или другую сторону, смотря по тому, какое направленіе имѣетъ токъ въ проволокахъ; такимъ образомъ можно тотчасъ узнать направленіе тока, а по отклоненію

показателя удостовѣриться въ большей или меньшей силѣ его.

§ 255.

Въ новѣйшее время много занимались тѣмъ, что бы употреблять мультипликаторъ Нобили вмѣсто телеграфа. Въ самомъ дѣлѣ, если концы мультипликатора, которыми онъ соединяется съ вольтовою цѣпью, сдѣлаемъ весьма длинными, наставляя ихъ продолжаться напр. на 10 верстъ, то цѣпь можетъ находиться въ одномъ мѣстѣ, мультипликаторъ въ 10-ти верстахъ отъ него; какъ скоро концы его сообщаются съ цѣпью, стрѣлка мультипликатора мгновенно отклоняется, потому что скорость тока не меньше скорости свѣта; кромѣ того отклоненія можно по произволу произвести въ ту или другую сторону, смотря по тому, соединимъ ли конецъ A мультипликатора съ цинкомъ, а B съ мѣдью, или наоборотъ. Такимъ образомъ можно дать 2 знака и употребленіемъ многихъ мультипликаторовъ или повтореніемъ знаковъ, какъ это бываетъ и въ обыкновенныхъ телеграфахъ, сообщить всевозможныя предложенія изъ одного мѣста въ другое въ короткое время и, что очень важно, посредствомъ этихъ телеграфовъ можно сообщаться какъ въ ясную, такъ и въ пасмурную погоду. Только нужно помнить, что чѣмъ длиннѣе берется проволока, тѣмъ она хуже проводитъ, и тѣмъ слѣд. слабѣе бываетъ токъ; по этому въ цѣпи должно ввести тѣмъ больше число паръ, чѣмъ больше разстояніе, на которое телеграфъ долженъ дѣйствовать. По этому нужно все вниманіе преимущественно обращаать на то, чтобы проволоки сдѣлать лучшими проводниками, т. е. нужно давать имъ большую толщину и дѣлать ихъ изъ лучшихъ металлическихъ

*

проводниковъ, напр. изъ мѣди. Тѣмъ и другимъ условіемъ цѣна длинныхъ проволокъ увеличивается; къ этому присоединяется еще положеніе проволокъ, которые должны быть проведены подъ землею, для того чтобы предохранить ихъ отъ поврежденія. Слѣд. преимущественно экономическій расчетъ противились введенію такого рода телеграфовъ; но безъ сомнѣнія въ короткое время они будутъ употреблены и въ большемъ размѣрѣ.

§ 256.

Электрическій токъ, какъ онъ дѣйствуетъ на стрѣлку отклоняя ее, такъ и имѣетъ вліяніе на не намагниченное желѣзо, *возбуждая въ немъ магнетизмъ*. Если подковообразное цилиндрическое желѣзо АВС, обматаемъ въ видѣ спирали мѣдною покрытою шелкомъ проволокою, какъ показываетъ фиг. 319, а концы ея D и F соединимъ съ гальваническою цѣпью, то желѣзо мгновенно намагнитится, такъ что оно притянетъ якорь MN, и можетъ поддерживать его вмѣстѣ съ вѣсовою чашкою, на которой лежатъ тяжести; при этомъ одинъ конецъ, напр. А, получитъ сѣверный полюсъ, а другой С южный. Когда прервемъ сообщеніе съ цѣпью, то и магнетизмъ въ желѣзѣ мгновенно прекратится, потому что возбужденные магнетизмы, не удерживаемые никакою силою, тотчасъ соединяются. Если превратимъ сообщеніе спиральной проволоки съ цѣпью, то желѣзо опять получитъ магнетизмъ въ такой же степени, только теперь въ ~~В~~ C будетъ сѣверный полюсъ и въ А южный. И такъ желѣзо можно въ одно мгновеніе намагнитить токомъ, и въ одно мгновеніе уничтожить магнетизмъ и перемѣнить его въ противоположный.

Поелику токъ проходитъ здѣсь только черезъ мѣдную проволоку, слѣд. черезъ хорошій проводникъ, и поелику легко можно достать проволоки значительной толщины, то для этихъ опытовъ не нужно многопарной цѣпи; но весьма выгодно имѣть цѣпь съ большими парами. Такіе электромагниты, въ видѣ подковы, имѣющей въ высоту около 10 дюймовъ, считая отъ конца до высоты изгиба, могутъ легко держать отъ дѣйствія цѣпи изъ одного Волластонова элемента, имѣющаго около 1 квадратнаго фута въ поверхности, отъ 300 до 400 фунтовъ; якорь MN одинъ безъ чашки притягивается съ большою силою на растояніи одного дюйма. Теперь приготовлены электромагниты въ большемъ размѣрѣ и съ большею цѣпью, которые могутъ держать больше 2000 фунтовъ и нѣтъ никакой причины, почему при большемъ усиленіи цѣпи нельзя сдѣлать магнита еще сильнѣйшаго.

Когда такимъ образомъ намагничиваютъ желѣзо, прикладываютъ къ нему якорь и потомъ прекращаютъ сообщеніе съ цѣпью, то находятъ, что якорь, не смотря на прекращеніе тока, еще съ порядочною силою удерживается на желѣзѣ, даже въ продолженіи цѣлыхъ сутокъ. Когда же отрываютъ его насильно, и потомъ опять прикладываютъ къ желѣзу, то вся магнитная сила уничтожалась въ немъ. Этимъ доказывается, что остающійся послѣ прекращенія тока магнетизмъ въ желѣзѣ удерживается отъ присутствія якоря. Въ самомъ дѣлѣ, если предположимъ, что отъ дѣйствія тока А сдѣлался сѣвернымъ полюсомъ, а С южнымъ и что потомъ приложенъ якорь, то въ семъ послѣднемъ возбудится въ М южный магнетизмъ, а въ N сѣверный; съ прекращеніемъ тока эти магнетизмы будутъ удерживаться притяженіемъ сѣвернаго магнетизма въ А и южнаго въ С, такъ что эти притяже-

нія замѣнятъ задерживательную силу. Но какъ скоро якорь будетъ отдаленъ, то это вліяніе прекращается и магнетизмы желѣза уравняются опять до 0.

Мгновенное возбужденіе магнетизма въ желѣзѣ и возможность перемѣнить въ одно мгновеніе полюсы въ противоположные, въ новѣйшія времена подали поводъ къ многоразличнымъ опытамъ, имѣющимъ цѣлію употребить магнетизмъ какъ двигающую силу. Не входя здѣсь въ подробности, мы по крайней мѣрѣ покажемъ, на какомъ простомъ началѣ основывается это.

Представимъ себѣ неподвижный электромагнитъ ABC (фиг. 320), котораго проволоки оканчиваются въ K и L: далѣе такойже электромагнитъ DEF, но который можетъ обращаться около вертикальной оси EG и котораго проволоки суть M и N. Соединимъ K и L съ цѣпью, такъ чтобы A сдѣлать сѣвернымъ полюсомъ, а C южнымъ; потомъ соединимъ также M и N съ цѣпью, такъ, чтобы D сдѣлался сѣвернымъ полюсомъ, а F южнымъ. Тогда A и D, равно какъ F и C будутъ отталкиваться; слѣд. магнитъ DEF повернется въ ту сторону, въ которую онъ случайно уже немного былъ подвинутъ, до того что взаимно притягивающіеся полюсы т. е. D съ C и F съ A будутъ стоять одинъ противъ другаго. Если въ это мгновеніе перемѣнимъ сообщеніе M и N съ цѣпью, между тѣмъ какъ K и L соединены по прежнему, то полюсы въ D и F вдругъ будутъ превращены; опять одноименные полюсы будутъ одинъ противъ другаго, они взаимно оттолкнутся и магнитъ опять повернется еще въ туже сторону, такъ что теперь онъ снова будетъ стараться притти въ первоначальное положеніе. Но тогда полюсы въ D и F снова мгновенно превращаются, такъ что они съ постоянно остающимися полюсами неподвижнаго магнита будутъ отталкиваться, и

такимъ образомъ круговращеніе продолжается далѣе. Послѣ каждаго полуоборота подвижной магнитъ перемѣняетъ свои полюсы отъ того, что соединеніе проволокъ M и N происходитъ въ обратномъ направленіи. Въ машинахъ такого рода сія перемена производится посредствомъ такъ называемыхъ *Коммутаторовъ* или *Гиротроповъ*, которыхъ находится много видовъ; всѣ они устроиваются такъ, что кругообращеніе подвижнаго магнита само по себѣ производитъ перемѣну полюсовъ, а не наблюдатель; отъ этого и перемѣна всегда точно производится въ желаемое мгновеніе, хотя бы магнитъ обращался весьма скоро. Какъ устроены коммутаторы мы должны здѣсь пройти молчаніемъ; дѣйствіе ихъ совершенно соотвѣтствуетъ прибору въ паровыхъ машинахъ, посредствомъ котораго онѣ безъ посторонней помощи и въ надлежащее время открываютъ и закрываютъ краны.

О возбужденіи Гальваническихъ токовъ посредствомъ магнетизма или объ Магнето-электричествѣ.

§ 257.

Въ 1832 году Фараде (Faraday) первый сдѣлалъ извѣстнымъ рядъ наблюденій, въ которыхъ онъ показалъ, что, какъ токами возбуждается магнетизмъ, такъ съ своей стороны и магнетизмъ можетъ возбудить гальваническіе токи. Самымъ выгоднымъ способомъ можно удостовѣриться въ этомъ слѣдующимъ опытомъ: берутъ подковообразный магнитъ NMS (фиг. 321) довольно сильный, напр. такой, который можетъ держать на якорѣ 20 фунтовъ; далѣе берутъ два желѣзные цилиндра K и L, соединяютъ ихъ съ кускомъ желѣза CD и обматываютъ ихъ въ видѣ спирали проволокою покрытою шелкомъ, которая не прерываясь обхо-

дитъ оба цилиндра и на обоихъ имѣетъ равное число оборотовъ. Проволока должна быть намотана въ такомъ направленіи, какъ будтобы обороты начинались отъ одного конца K потомъ продолжались въ томъ же направленіи около CD и потомъ перешли въ L, или такъ, что если бы якорь KCDL можно было выпрямить въ одну линію, то всѣ обороты шли въ одномъ и томъ же направленіи.

Когда концы A и B соединимъ съ мультипликаторомъ и потомъ мгновенно положимъ якорь KCDL на магнитъ, то стрѣлка въ мультипликаторѣ отклонится, въ доказательство того, что токъ пробѣгаетъ черезъ спираль на якорѣ и черезъ мультипликаторъ. Токъ этотъ продолжается только то время, пока якорь отъ прикосновенія къ магниту намагничивается; когда онъ, лежа на магнитѣ, остается намагниченнымъ, тогда токъ болѣе не существуетъ; но какъ скоро оторвемъ якорь и лишимъ его такимъ образомъ магнетизма, то мультипликаторъ опять покажетъ токъ, котораго направленіе противоположно первоначальному, т. е. стрѣлка отклоняется въ другую сторону. *И такъ, когда желѣзо намагничивается, то оно возбуждаетъ въ замкнутой спирали, окружающей его, мгновенный электрической токъ, а когда оно теряетъ свой магнетизмъ, то возбуждается мгновенный токъ противоположный первому.* Этотъ способъ возбужденія токовъ называется также *индукціею* (Induction).

Вмѣсто того чтобы отрывать и накладывать якорь KCDL, можно его обращать около оси FG; при чемъ онъ будетъ отрываться въ сторону и приближаться со стороны, не касаясь совершенно магнита, но все еще находясь такъ близко отъ него, что въ желѣзѣ возбуждается магнетизмъ въ значительной степени. Когда обращаютъ якорь все въ одну сторону, то при каждомъ полуоборотѣ

возбуждается токъ, и при другомъ полуоборотѣ противоположный первому. Тогда если соединимъ концы AB напр. проволокою, то она нагрѣется, и если это будетъ тонкая платиновая проволока, то она даже раскалится. Когда соединеніе производится посредствомъ прибора (фиг. 310) для разложенія воды, то между проволоками m и m' вода будетъ разлагаться и при томъ на каждой проволокѣ, въ продолженіи одного полуоборота якоря, будетъ освобождаться водородъ и въ продолженіи другаго полуоборота кислородъ, такъ что на обѣихъ проволокахъ получается смѣсь изъ двухъ газовъ, не такъ какъ въ гальванической цѣпи на одной проволокѣ получается только одинъ кислородъ, а на другой одинъ водородъ. Если соединеніе проволоки производится посредствомъ рукъ или тѣла наблюдателя, то ощущается электрическое сотрясеніе, которое въ удобно устроенныхъ приборахъ можетъ быть очень сильно; наконецъ если проволоки AB будутъ соединены между собою и потомъ вовремя прохожденія тока опять раздѣлены, то видна бываетъ искра. И такъ этотъ магнето-электрическій токъ дѣйствуетъ совершенно также какъ и гальваническій; только онъ продолжается не безпрерывно, но возбуждается при каждомъ полномъ оборотѣ два раза въ противоположныхъ направленіяхъ. Подробное описаніе магнето-электрическихъ машинъ не можетъ быть здѣсь изложено; но въ случаѣ надобности достаточно будетъ прежде сказанное, дабы, взглядѣ на такую машину, понимать дѣйствіе ея. —

О возбужденіи электричества посредствомъ нагрѣванія или о Термо-электричествѣ.

§ 258

До сихъ поръ мы знали два источника гальваническа-

го тока, прикосновенie металловъ и магнетизмъ, приводимый въ движенie. Но есть еще третiй источникъ, *нагрѣванie* и совокупность всѣхъ относящихся сюда явленiй называется *термо-электричествомъ*.

Пусть AB (фиг. 322) представляетъ пластинку изъ висмута, ACB полосу изъ мѣди припаянную въ A и B къ висмуту. При F ввинчено въ висмутъ острie FD, на которомъ двигается магнитная стрѣлка NS. Если приборъ поставленъ такъ, что конецъ A обращенъ къ сѣверу, B къ югу, то стрѣлка NS приметъ положенie параллельное AB. Очевидно, что въ дугѣ ACB небудетъ никакого гальваническаго тока; ибо хотя при A отъ прикосновенiя обоихъ металловъ и будетъ дѣйствовать электровозбудительная сила и заставитъ стремиться + E отъ A къ B, a — E отъ A къ C, но за то таже самая сила дѣйствуетъ и при B и гонитъ + E отъ B къ A, a — E отъ B къ C, слѣд. дѣйствуетъ противоположно прежней силѣ и такъ какъ при равенствѣ металловъ обѣ электровозбудительныя силы равны, то онѣ по противоположности совершенно уравновѣсатся. Если же мы въ какомъ нибудь мѣстѣ прикосновенiя, напр. въ A, можемъ измѣнить электровозбудительную силу, не измѣняя силы при B, то одинъ токъ возметъ перевѣсъ надъ другимъ и слѣд. въ дугѣ ACB будетъ имѣть мѣсто одинъ токъ, который равенъ разности обоихъ токовъ и который обнаружится отклоненiемъ стрѣлки. Это въ самомъ дѣлѣ бываетъ если нагрѣемъ A прикасаясь къ нему рукою, или еще лучше, держа подъ нимъ въ нѣкоторомъ разстоянiи лампу; тогда сѣверный конецъ стрѣлки отклонится къ востоку, а этимъ по предъидущему доказывается, что электровозбудительная сила мѣди и висмута уменьшилась отъ теплоты; но при употребленiи другихъ металловъ находятъ часто противное.

Дабы не имѣть надобности замѣчать при каждомъ случаѣ, сдѣлалась ли электровозбудительная сила слабѣе или сильнѣе, при опредѣленiи направленiя тока въ термоэлектрическихъ цѣпяхъ обыкновенно принимаютъ нагрѣванie за непосредственный источникъ электричества, а не за одно только измѣненie первоначальныхъ гальваническихъ напряженiй и въ такомъ случаѣ располагаютъ металлы въ такомъ порядкѣ, въ которомъ каждый предшествующiй металлъ въ отношенiи къ каждому послѣдующему за нимъ въ *нагрѣтомъ спаѣ* дѣлается электроположительнымъ; подобный рядъ мы имѣли уже для гальванизма, но здѣсь порядокъ металловъ совершенно другой, какъ видно изъ слѣдующаго:

+ Сюрьма, желѣзо, серебро, цинкъ, мѣдь, платина, висмутъ —.

Самую сильную противоположность составляютъ висмутъ и сюрьма; по этому для термоэлектрическихъ токовъ обыкновенно употребляютъ эти два металла.

§ 259

Отличительное свойство термо-электрическихъ токовъ состоитъ въ томъ, что они проходятъ только черезъ металлы, слѣд. черезъ хорошie проводники; только отъ этого дѣлается возможнымъ то, что малѣйшая электровозбудительная сила, производимая нагрѣванiемъ, обнаруживаетъ столь значительное дѣйствie на магнитную стрѣлку. Если бы мы хотѣли усилить это дѣйствie тѣмъ, что открыли бы нашу цѣпь, напр. при B, и отдѣленные здѣсь другъ отъ друга концы соединили съ мультипликаторомъ, то мы нашли бы, что отклоненie стрѣлки отъ этого отнюдь не

увеличивалось, но напротивъ уменьшилось. Весьма значительное въ сравнении съ висмутомъ и мѣдною полосою сопротивленіе, представляемое во всей цѣпи длинною и тонкою проволокою мультипликатора, ослабляетъ токъ такъ сильно, что хотя онъ теперь дѣйствуетъ на стрѣлку въ гораздо большемъ числѣ оборотовъ, однако отъ этого совокупное дѣйствіе дѣлается слабѣе. Если напр. предположимъ, что мультипликаторъ имѣетъ 100 оборотовъ и что сопротивленіе его вмѣстѣ съ мѣдью и висмутомъ въ 1000 разъ больше сопротивленія однихъ только послѣднихъ металловъ, то теперь токъ сдѣлается въ 1000 разъ слабѣе, нежели безъ мультипликатора (§ 248); хотя посредствомъ этого въ 100 разъ слабѣйшаго тока дѣйствуютъ теперь на стрѣлку мультипликатора 100 оборотовъ, между тѣмъ какъ прежде дѣйствовалъ только одинъ оборотъ, но дѣйствіе тока при всемъ томъ будетъ только $\frac{1}{10}$ прежняго дѣйствія.

По сему дабы посредствомъ мультипликатора произвести усиленіе, соединяютъ много пластинокъ изъ висмута и сюрьмы, какъ показано въ фигурѣ 323. Пусть оттѣненныя пластинки представляютъ висмутъ и свѣтлыя сюрьму. Концы A и B этой цѣпи соединяются съ мультипликаторомъ. Когда напр 1, 3, 5 и проч. будутъ нагрѣты, между тѣмъ какъ 2, 4, 6 и проч. останутся при своей температурѣ, то каждый нагрѣтый спай возбудитъ токъ въ одномъ и томъ же направленіи, которое показываетъ стрѣлка и мы напр. при 30 такихъ парахъ получимъ электровозбудительную силу въ 30 разъ большую. Здѣсь дѣйствіе мультипликатора гораздо сильнѣе непосредственнаго дѣйствія при соединеніи одной термоэлектрической цѣпи. Въ самомъ дѣлѣ въ этомъ случаѣ сопротивленіе мультиплика-

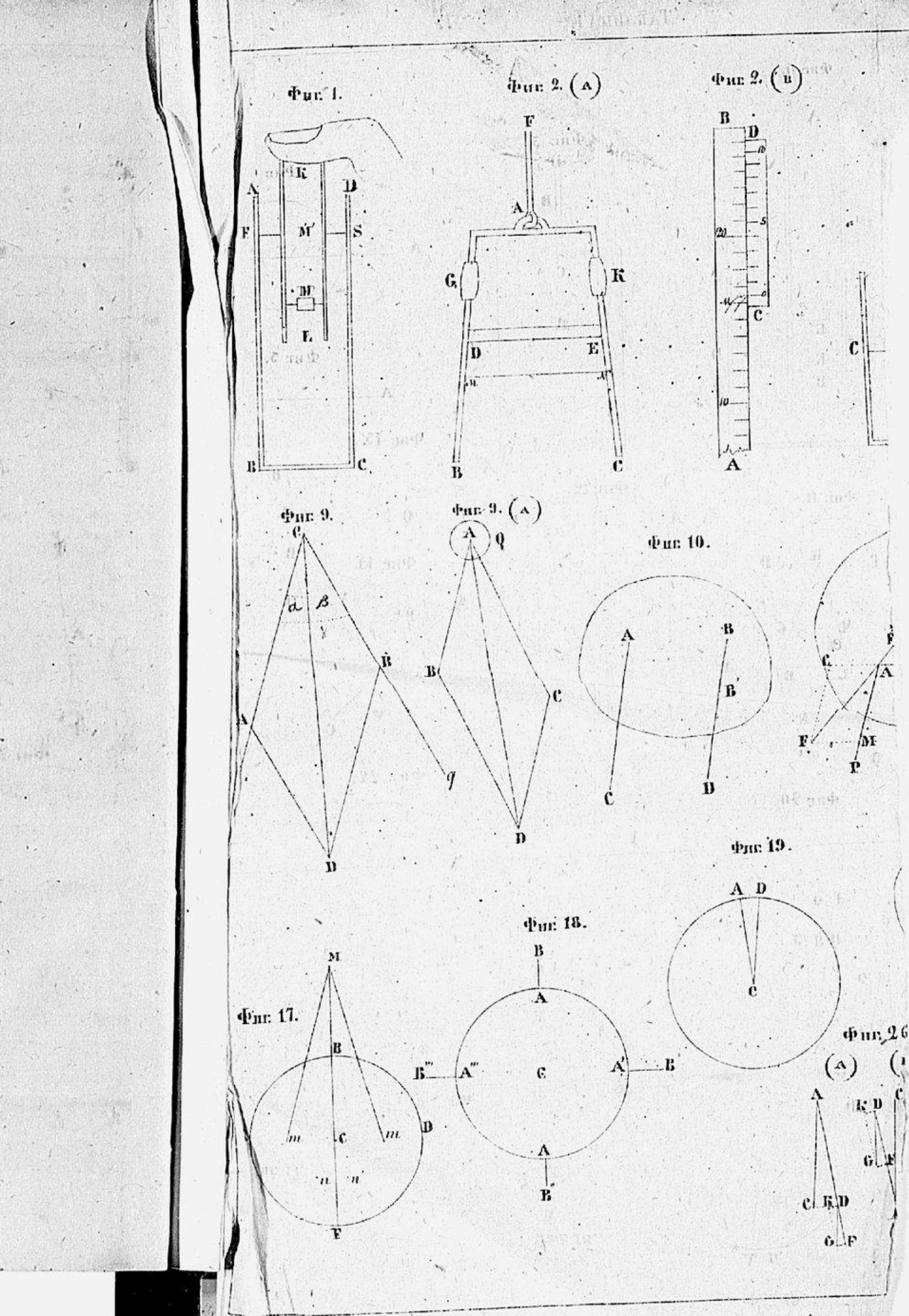
тора въ отношеніи къ сопротивленію цѣпи гораздо меньше увеличивается, потому что цѣпь состоитъ изъ 60 пластинокъ—худшихъ проводниковъ, нежели проволока мультипликатора. Если предположимъ, что сопротивленіе мультипликатора въ 4 раза больше сопротивленія термоэлектрической цѣпи, и что слѣд. сопротивленіе замкнутой мультипликаторомъ цѣпи въ 5 разъ больше, нежели когда бы она была замкнута непосредственно (напр. короткою толстою проволокою) и если число оборотовъ будетъ 100, то хотя токъ въ каждомъ оборотѣ сдѣлается въ 5 разъ слабѣе въ сравненіи съ токомъ существующимъ въ одной цѣпи, но за то теперь дѣйствуютъ 100 оборотовъ, слѣд. дѣйствіе все еще будетъ въ 20 разъ сильнѣе, нежели безъ мультипликатора.

Приборъ состоящій изъ многопарной термоэлектрической цѣпи, но въ которой пары лежатъ не въ одной плоскости а составляютъ призматическій пукъ, такъ что соединенія 1, 3, 5 и проч. находятся на одномъ концѣ, 2, 4, 6 и проч. на другомъ, между тѣмъ какъ самыя пары отдѣлены одна отъ другой не проводящимъ смолистымъ веществомъ, называется *термо-мультипликаторомъ*, если концы его соединены съ весьма чувствительнымъ мультипликаторомъ. Если одинъ конецъ термо-мультипликатора (слѣд. напр. соединенія 1, 3, 5) не много нагрѣемъ, то это нагрѣваніе мгновенно обнаружится отклоненіемъ стрѣлки мультипликатора; этотъ приборъ представляетъ самый чувствительный термометръ, который мы знаемъ; онъ ясно обнаруживаетъ теплоту человѣческаго тѣла на разстояніи многихъ футовъ. Онъ особенно употребляется для лучистой теплоты, потому что здѣсь теплородные лучи непосредственно падаютъ на мѣста спаевъ 1, 3, 5 и проч., покрытыя для удобнѣйшаго принятія лучей тон-

кимъ слоемъ сажи, между тѣмъ какъ при обыкновенномъ или дифференціальномъ термометрѣ теплородные лучи должны проходить черезъ слой стекла т. е. черезъ тѣло несовершенно діатермическое. Посредствомъ этого прибора Меллони сдѣлалъ касательно лучистой теплоты тѣ важныя открытія, съ которыми мы частію уже познакомились (§ 218).

Слабость электровозбудительной силы въ термо-электрической цѣпи есть причина того, это остальныя явленія тока, напр. химическія и физіологическія, при которыхъ вводится въ цѣпь большое сопротивленіе, до сихъ поръ еще не удалось произвести; только разложеніе воды, хотя очень слабое, произведено было посредствомъ такой многопарной термо-электрической цѣпи. Но такъ какъ намагничиваніе желѣза можно произвести этимъ приборомъ, потому что при этомъ токъ долженъ пройти только черезъ металлическія проволоки и какъ этимъ магнетизмомъ можно воспользоваться, какъ было показано въ предшествующихъ параграфахъ, и для произведенія явленій искры, и для химическихъ и для физіологическихъ дѣйствій: то такимъ образомъ и эти явленія можно произвести посредствомъ термо-электричества, только не непосредственно, но при содѣйствіи магнето-электричества намагниченнаго желѣза.

КОНЕЦЪ.



Фиг. 1.
Фиг. 2. (A)
Фиг. 2. (B)
Фиг. 9.
Фиг. 9. (A)
Фиг. 10.
Фиг. 19.
Фиг. 18.
Фиг. 17.

Таблица 2д

съ Фиг. 31 по 65.

Фиг. 31. Фиг. 32. Фиг. 33. Фиг. 34. Фиг. 35.

Фиг. 36. Фиг. 38. Фиг. 40. Фиг. 43.

Фиг. 37. Фиг. 39. Фиг. 41. Фиг. 42. Фиг. 44. Фиг. 45. Фиг. 46.

Фиг. 50. Фиг. 51.

Фиг. 47. Фиг. 48. Фиг. 49. Фиг. 52. Фиг. 53. Фиг. 54. Фиг. 55.

Фиг. 56. Фиг. 57. Фиг. 58. Фиг. 59. Фиг. 61. Фиг. 60. Фиг. 62. Фиг. 63. Фиг. 64.

Таблица 3я

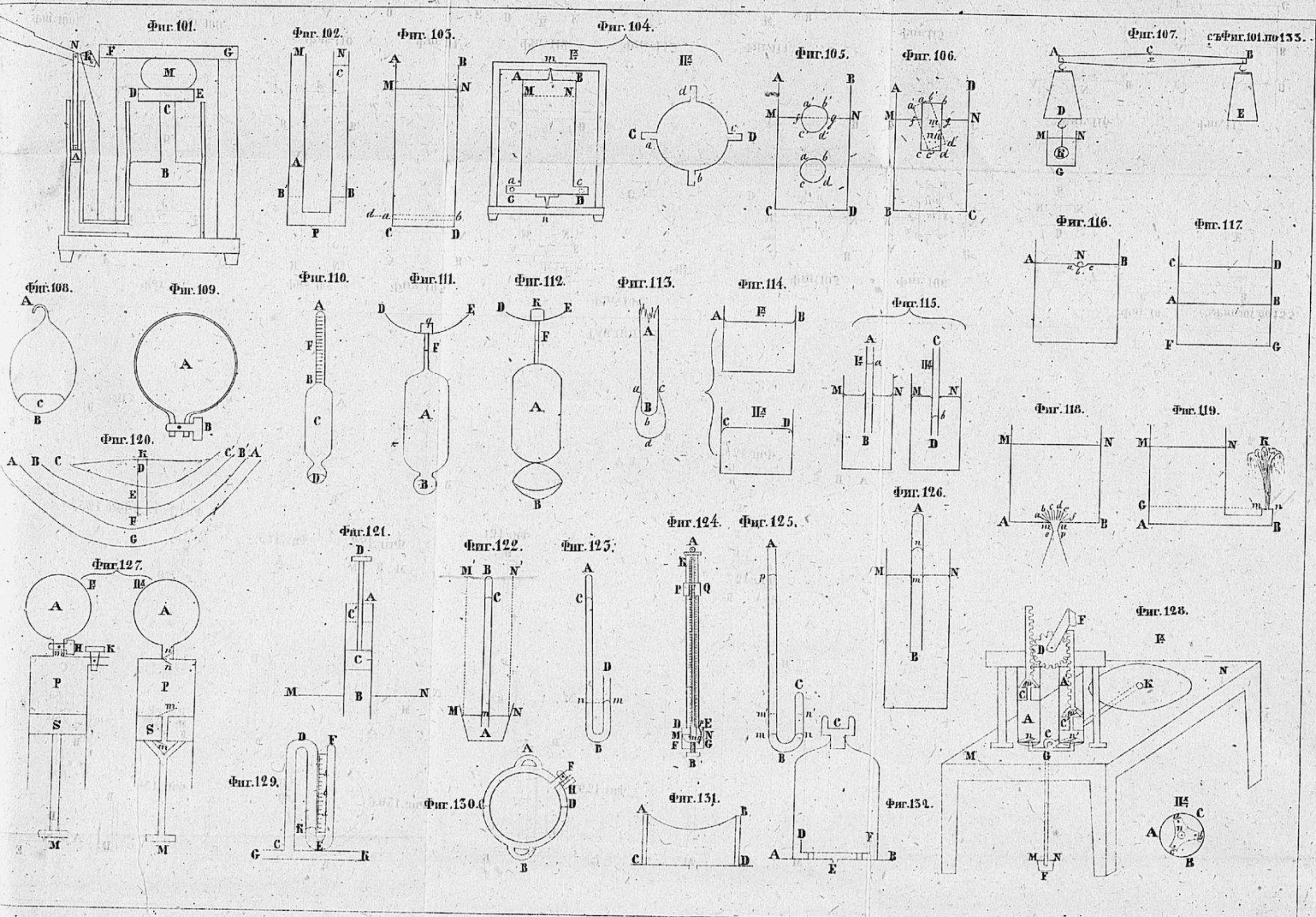
къ Фиг. 65 по 101.

Фиг. 65. Фиг. 66. Фиг. 67. Фиг. 68. Фиг. 69. Фиг. 70. Фиг. 71. Фиг. 72. Фиг. 73.

Фиг. 74. Фиг. 75. Фиг. 76. Фиг. 77. Фиг. 78. Фиг. 79. Фиг. 80. Фиг. 81. Фиг. 82.

Фиг. 83. Фиг. 84. Фиг. 85. Фиг. 86. Фиг. 87. Фиг. 88. Фиг. 89. Фиг. 90. Фиг. 91.

Фиг. 92. Фиг. 93. Фиг. 94. Фиг. 95. Фиг. 96. Фиг. 97. Фиг. 98. Фиг. 99. Фиг. 100.


съ Фиг. 101. по 133.
Фиг. 101.
Фиг. 102.
Фиг. 103.
Фиг. 104.
Фиг. 105.
Фиг. 106.
Фиг. 107.
Фиг. 108.
Фиг. 109.
Фиг. 110.
Фиг. 111.
Фиг. 112.
Фиг. 113.
Фиг. 114.
Фиг. 115.
Фиг. 116.
Фиг. 117.
Фиг. 118.
Фиг. 119.
Фиг. 120.
Фиг. 121.
Фиг. 122.
Фиг. 123.
Фиг. 124.
Фиг. 125.
Фиг. 126.
Фиг. 127.
Фиг. 128.
Фиг. 129.
Фиг. 130.
Фиг. 131.
Фиг. 132.

съ Фиг. 133 по 165.

Фиг. 133.

Фиг. 134.

Фиг. 135.

Фиг. 136.

Фиг. 137.

Фиг. 138.

Фиг. 139.

Фиг. 140.

Фиг. 141.

Фиг. 142.

Фиг. 143.

Фиг. 144.

Фиг. 145.

Фиг. 146.

Фиг. 147.

Фиг. 148.

Фиг. 149.

Фиг. 150.

Фиг. 151.

Фиг. 152.

Фиг. 153.

Фиг. 154.

Фиг. 155.

Фиг. 156.

Фиг. 157.

Фиг. 158.

Фиг. 159.

Фиг. 160.

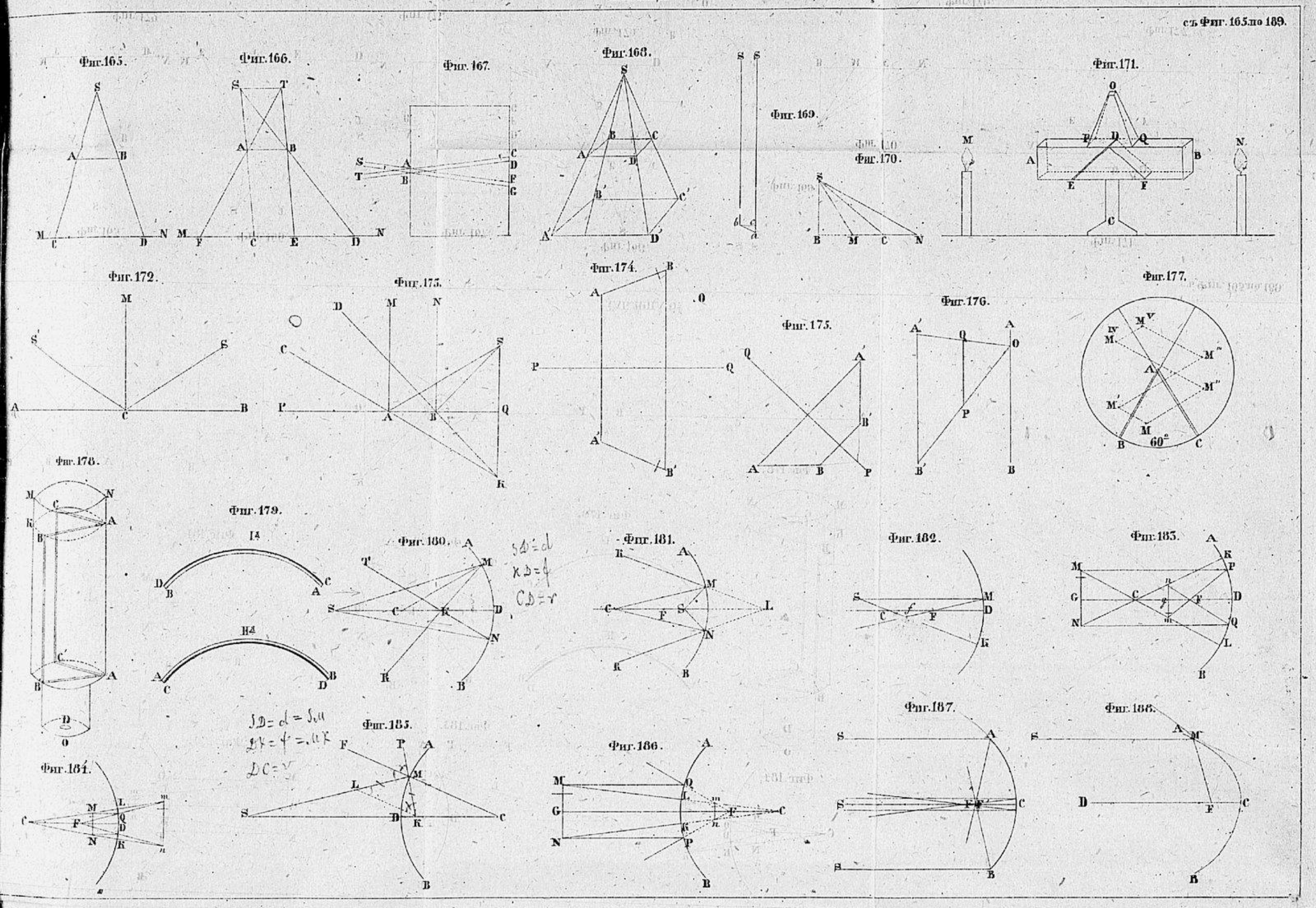
Фиг. 161.

Фиг. 162.

Фиг. 163.

Фиг. 164.

ТАБЛИЦА 6ᵃ



съ Фиг. 165 по 189.
Фиг. 165.
Фиг. 166.
Фиг. 167.
Фиг. 168.
Фиг. 169.
Фиг. 170.
Фиг. 171.
Фиг. 172.
Фиг. 173.
Фиг. 174.
Фиг. 175.
Фиг. 176.
Фиг. 177.
Фиг. 178.
Фиг. 179.
Фиг. 180.
Фиг. 181.
Фиг. 182.
Фиг. 183.
Фиг. 184.
Фиг. 185.
Фиг. 186.
Фиг. 187.
Фиг. 188.
SD = d
KD = f
CD = r
60°

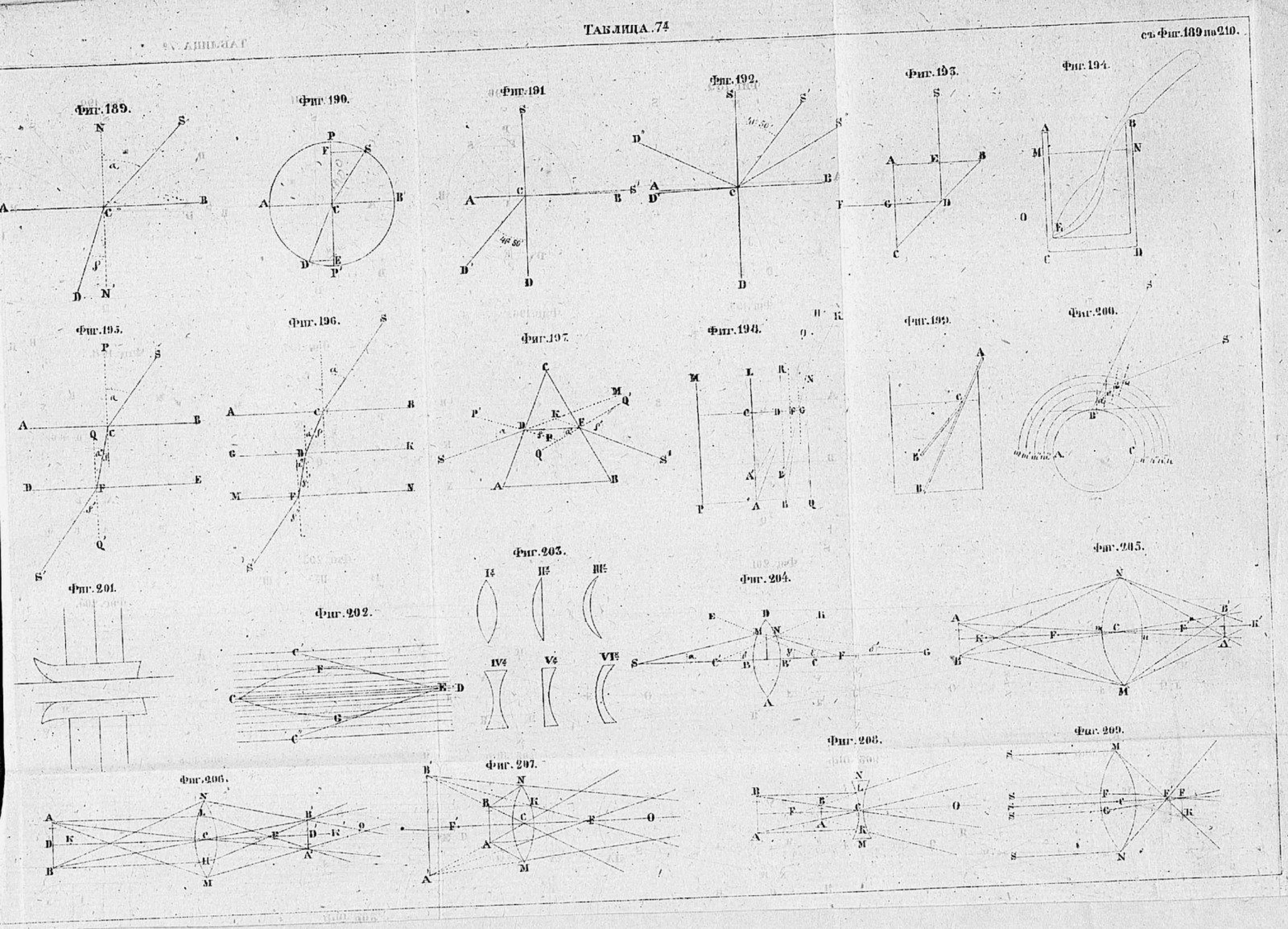
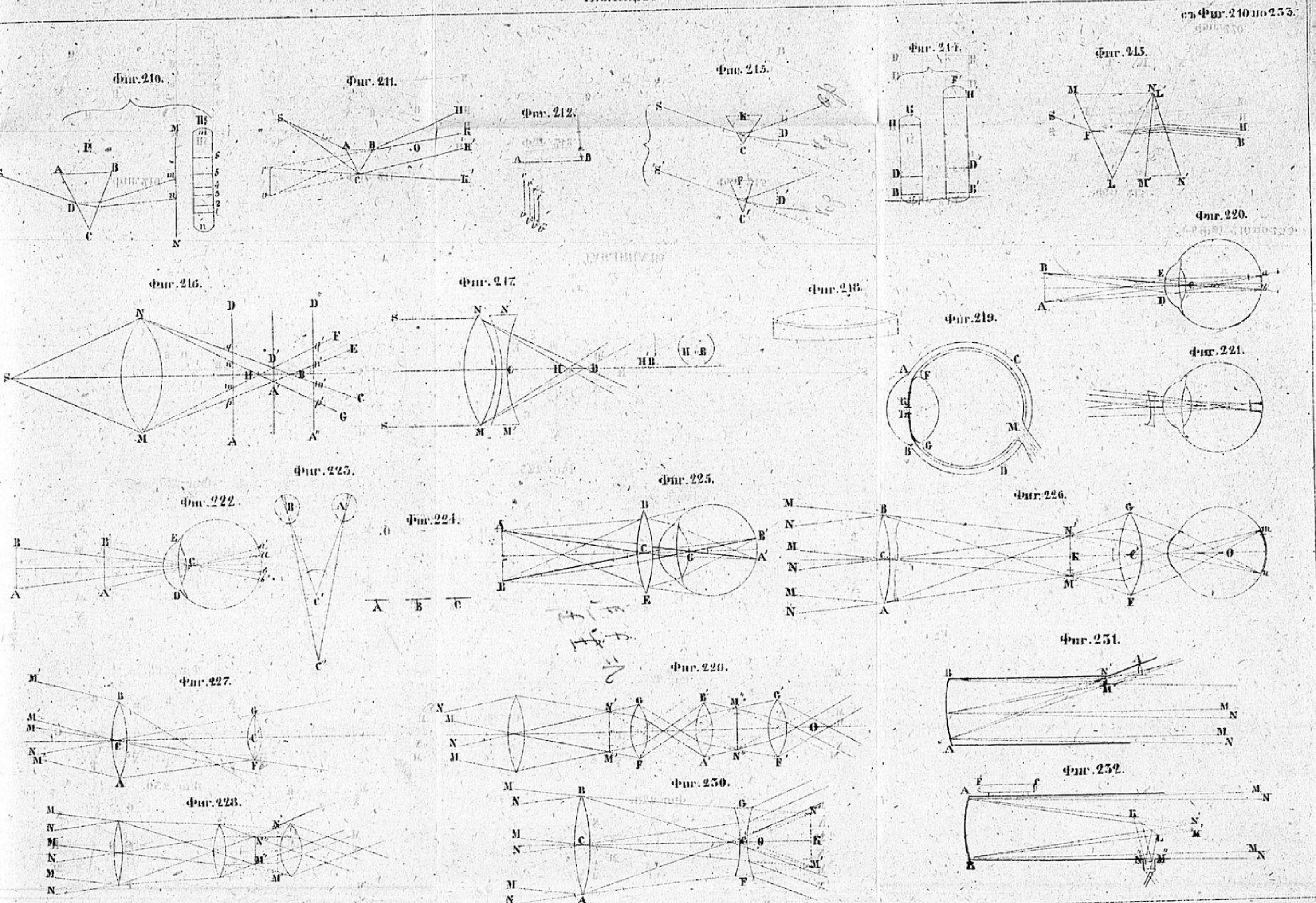

Фиг. 189.
Фиг. 190.
Фиг. 191
Фиг. 192.
Фиг. 193.
Фиг. 194.
Фиг. 195.
Фиг. 196.
Фиг. 197.
Фиг. 198.
Фиг. 199.
Фиг. 200.
Фиг. 201.
Фиг. 202.
Фиг. 203.
Фиг. 204.
Фиг. 205.
Фиг. 206.
Фиг. 207.
Фиг. 208.
Фиг. 209.

ТАБЛИЦА 8.

съ Фиг. 210 по 233.



съ Фиг. 233 по 263.

Фиг. 233.

Фиг. 234.

Фиг. 235.

Фиг. 236.

Фиг. 237.

Фиг. 238.

Фиг. 239.

Фиг. 240.

Фиг. 241.

Фиг. 242.

Фиг. 243.

Фиг. 244.

Фиг. 245.

Фиг. 246.

Фиг. 246. А.

Фиг. 247.

Фиг. 248.

Фиг. 249.

Фиг. 250.

Фиг. 251.

Фиг. 252.

Фиг. 253.

Фиг. 254.

Фиг. 255.

Фиг. 256.

Фиг. 257.

Фиг. 258.

Фиг. 259.

Фиг. 260.

Фиг. 261.

Фиг. 262.

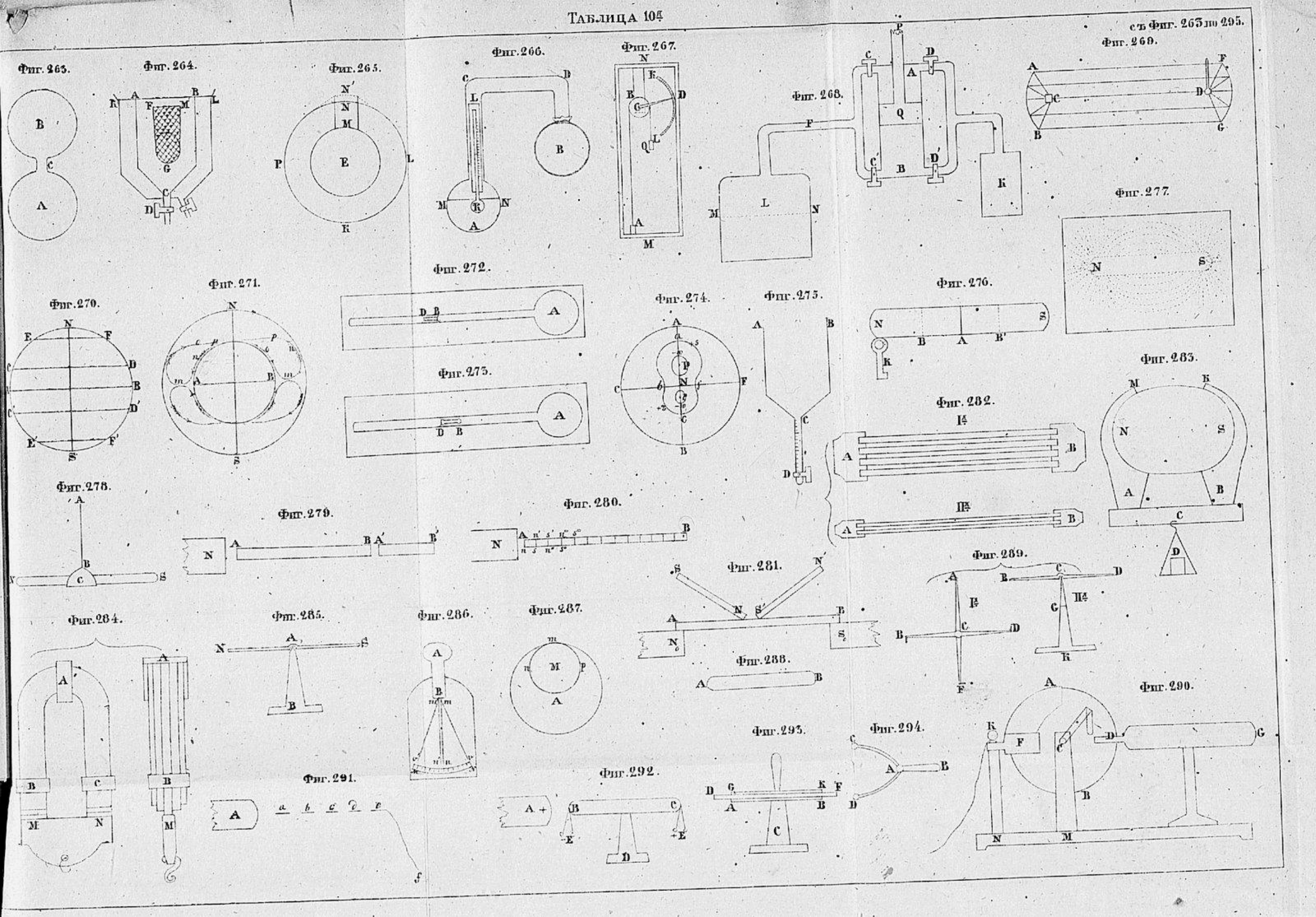

съ Фиг. 263 по 295.
Фиг. 263.
Фиг. 264.
Фиг. 265.
Фиг. 266.
Фиг. 267.
Фиг. 268.
Фиг. 269.
Фиг. 270.
Фиг. 271.
Фиг. 272.
Фиг. 273.
Фиг. 274.
Фиг. 275.
Фиг. 276.
Фиг. 277.
Фиг. 278.
Фиг. 279.
Фиг. 280.
Фиг. 281.
Фиг. 282.
Фиг. 283.
Фиг. 284.
Фиг. 285.
Фиг. 286.
Фиг. 287.
Фиг. 288.
Фиг. 289.
Фиг. 290.
Фиг. 291.
Фиг. 292.
Фиг. 293.
Фиг. 294.

Таблица 11а.

съ Фиг. 295 по 323.

Фиг. 295. Фиг. 296. Фиг. 297. Фиг. 298. Фиг. 299. Фиг. 300. Фиг. 301. Фиг. 302. Фиг. 303.

Фиг. 304. Фиг. 305. Фиг. 306. Фиг. 307. Фиг. 308. Фиг. 309. Фиг. 310. Фиг. 311. Фиг. 312.

Фиг. 313. Фиг. 314. Фиг. 315. Фиг. 316. Фиг. 317. Фиг. 318.

Фиг. 319. Фиг. 320. Фиг. 321. Фиг. 322. Фиг. 323.

О! тяжело нести пред бездушным светом
Страданий печать,
И ни одной души, въ огромном міре этомъ
Своей не называть.

Э. Губеръ.

Москва.
18 31/13 44.

стр. 279 и 543.

Въ Тифл. поступилъ 1837 г. Сентября 8. наход. по 3 мая 1844 г.
Въ Универс. поступилъ 1844 г. 10 Авг. [illegible]
7 Сентября 1844 года